



Patente Nro.	AR 014046 B1
Concedida	28/03/2006
Fecha de vencimiento	27/11/2018
Acta Nro.	P 98 01 06037
Presentada	27/11/1998
Clase	C04B14/38 14/20 1
Título	HORMIGON CONSTITUIDO POR UNA MATRIZ CEMENTICIA ENDURECIDA, MATRIZ CEMENTICIA Y PREMEZCLA
Solicitante/Titular	BOUYGUES * LAFARGE * RHODIA CHIMIE
Domicilio	25, quai Paul Doumer 92400 COURBEVOIE FRANCE
Prioridad:	FR - 9714928 - 27/11/1997
Reválida	
Adicional	
Divisional	
Carpeta	201.992

339521/D16812

20102019920300



Patente Nro.	AR 014046 B1
Concedida	28/03/2006
Fecha de vencimiento	27/11/2018
Acta Nro.	P 98 01 06037
Presentada	27/11/1998
Clase	C04B14/38 14/20 1
Título	HORMIGON CONSTITUIDO POR UNA MATRIZ CEMENTICIA ENDURECIDA, MATRIZ CEMENTICIA Y PREMEZCLA
Solicitante/Titular	BOUYGUES * LAFARGE * RHODIA CHIMIE
Domicilio	25, quai Paul Doumer 92400 COURBEVOIE FRANCE
Prioridad:	FR - 9714928 - 27/11/1997
Reválida	
Adicional	
Divisional	
Carpeta	201.992

339521/D16812

20102019920300

HORMIGON CONSTITUIDO POR UNA MATRIZ CEMENTARIA ENDURECIDA,
MATRIZ CEMENTARIA Y PREMEZCLAS

La presente invención se relaciona con un hormigón constituido por una matriz cementaria endurecida, matriz cementaria y premezclas. Tiene como objeto principal un hormigón mejorado que permite, especialmente, fabricar elementos de estructuras para ingeniería civil destinados a la realización de edificios y obras de arte y que tienen propiedades superiores a las de los elementos de la técnica anterior. En particular, la presente invención está dirigida a la obtención, para el hormigón de estructura, de un comportamiento mecánico que es a la vez tenaz y dúctil.

Un análisis estructural del hormigón ha demostrado que sus propiedades mecánicas están estrechamente relacionadas con la presencia de defectos de estructura. Pueden observarse varios tipos de defectos que se diferencian por su tamaño en estos hormigones cuando son sometidos a cargas mecánicas.

En la escala más baja, se observa un defecto denominado microporosidad del hormigón. Se trata de poros, denominados capilares, que surgen de los espacios intergranulares que están presentes inicialmente en la pasta fresca. Su tamaño varía entre 50 nm y algunos micrones.

En la siguiente escala se observan defectos de microfisuración. Se trata de microfisuras que presentan aberturas que van desde 1 hasta varios cientos de micrones. Son no coalescentes, es decir no forman una vía continua a través de la estructura. Se deben principalmente al carácter heterogéneo del hormigón, presentando las granulares del mismo propiedades mecánicas y físicas que son diferentes de las del aglutinante/cemento. Aparecen después de la carga mecánica. Este tipo de defecto es el principal responsable de las débiles propiedades mecánicas del hormigón en tracción y de su carácter frágil.

En la última escala se observan defectos de macrofisuración. La abertura de estas fisuras varía desde algunos cientos de micrones hasta algunos mm. Estas fisuras son coalescentes.

Pueden observarse también defectos más importantes de tamaño mili-

métrico que se deben a una mala preparación del hormigón (aire ocluido, defectos de relleno).

Se han sugerido soluciones para disminuir la presencia de estos diferentes defectos o bien para atenuar sus efectos sobre las características mecánicas del hormigón.

Para mejorar las características mecánicas de los hormigones se ha propuesto reemplazar la arena de la matriz cementaria por otros constituyentes más útiles pero el costo del hormigón se incrementa de modo redhibitorio para que su utilización pueda ser propuesta de manera corriente para ingeniería civil, debido a las restricciones económicas que pesan en este campo.

Igualmente se ha propuesto incorporar a la composición de hormigón agregados de dureza elevada, pero las cantidades que se emplean para obtener el rendimiento deseado también aumentan de manera excesiva el precio de costo del hormigón teniendo en cuenta el elevado costo de estos agregados.

Se ha propuesto también mejorar, algunas veces de manera espectacular, algunas propiedades mecánicas del hormigón incorporándole una tasa elevada de fibras de refuerzo, o sea típicamente una tasa de 10 a 15% en volumen, pero esta tasa no solamente tiene un efecto muy sensible sobre el precio de costo del hormigón, sino que además hace que su amasado, su homogeneización y eventualmente su colada sean demasiado difíciles o demasiado críticos para poder ser aplicados en ingeniería civil y principalmente bajo las condiciones de trabajo de una obra de construcción.

Igualmente, la microporosidad pudo ser parcialmente controlada disminuyendo la relación en peso de agua a cemento, y utilizando fluidificantes. La utilización de cargas finas, especialmente de reacción puzolánica, ha permitido también reducir el tamaño de los microporos.

Sin embargo, la organización del esqueleto granular mediante los métodos

habituales no permite obtener hormigón con reología satisfactoria bajo condiciones aceptables de puesta en práctica para ingeniería civil (fibras mal dispersadas, defectos de microestructuras, ...).

La microfisuración ha sido enormemente reducida mediante:

- la mejora de la homogeneidad del hormigón, limitando por ejemplo el tamaño de los granulares a 800 μm ,
- la mejora de la compactación del material (optimización granular y eventual prensado antes y durante la solidificación),
- tratamientos térmicos después de la solidificación.

En cuanto a la macrofisuración, puede controlarse mediante la utilización de fibras metálicas, pero con las mismas dificultades de puesta en práctica mencionadas precedentemente.

A título de documento ilustrativo de la técnica anterior, puede citarse la solicitud de patente WO-A-95/01316 que se refiere a hormigón de fibras metálicas en el cual la cantidad de fibras es controlada y las dimensiones de las fibras se eligen en proporciones determinadas en relación a las de los elementos granulares.

Este hormigón de fibras comprende cemento, elemento granulares, elementos finos de reacción puzolánica y fibras metálicas. Los elementos granulares deben presentar un espesor de grano máximo D de por lo menos 800 μm , las fibras deben tener una longitud individual 1 comprendida entre 4 y 20 mm, y la relación R entre la longitud media L de las fibras y D debe ser por lo menos igual a 10, siendo la cantidad de fibras una cantidad tal que su volumen es de 1 a 4% del volumen del hormigón después de la solidificación.

El hormigón obtenido presenta un comportamiento dúctil o de pseudo-batido.

Sigue existiendo la necesidad de eliminar los defectos previamente citados

o de reducir fuertemente sus efectos y especialmente las microfisuraciones, ya que ha podido observarse que las puestas en práctica descritas en el arte anterior sirven principalmente para evitar el desarrollo de macrofisuras y no de microfisuras; las microfisuras por lo tanto quedan sólo parcialmente estabilizadas y bajo un esfuerzo se desarrollan.

La presente invención tiene como objetivo un hormigón que contiene fibras metálicas de refuerzo y que posee propiedades mejoradas en relación a los hormigones similares de la técnica anterior.

Mediante propiedades mejoradas, se entiende tanto las características mecánicas superiores a las de los hormigones de fibras conocidos, como las características que son por lo menos iguales a las de los hormigones de fibras conocidos, pero que son susceptibles de ser obtenidos a escala industrial de manera constante y reproducible.

Otro objetivo de la presente invención es aumentar el nivel de esfuerzo cuando aparece el primer deterioro del hormigón (es decir las microfisuras), e incrementar de este modo el dominio de utilización del hormigón, es decir el comportamiento elástico lineal del hormigón.

Otra finalidad más de la presente invención es la de mejorar el batido del hormigón más allá del primer deterioro, controlando la propagación de las macrofisuras. La invención se propone también incrementar el dominio de utilización del hormigón más allá del primer deterioro mejorando el comportamiento dúctil del hormigón.

Una finalidad más de la invención es la de mejorar, mediante un efecto de sinergia entre la matriz cementaria y las fibras, el comportamiento del hormigón tanto frente a la aparición de microfisuras como frente a la propagación de macrofisuras.

Mediante "matriz cementaria", se designa la composición cementaria

endurecida fuera de las fibras metálicas.

Otro objetivo más de la presente invención, que es particularmente importante para la obtención de cuerpo en el hormigón, el cual, debido a su dimensión o a las condiciones de obra no podría someterse a un tratamiento térmico, es la obtención bajo condiciones mejoradas frente a la técnica anterior y especialmente a las temperaturas cercanas a la temperatura ambiente (20°C), de un hormigón que tiene características mecánicas (en el sentido indicado precedentemente), por lo menos iguales a las que no pueden ser obtenidas si no es mediante un tratamiento térmico en el caso de los mejores hormigones de fibras conocidos.

La presente invención tiene también como objetivo una matriz cementaria que permite obtener el hormigón de la invención y las premezclas que comprenden la totalidad o parte de los constituyentes necesarios para la preparación de esta matriz o del hormigón.

Bajo su forma general, la invención se refiere a un hormigón constituido por una matriz cementaria endurecida en la cual se dispersan las fibras metálicas, provenientes de la mezcla con agua de una composición que comprende, además de las fibras:

(a) cemento;

(b) elementos granulares que tienen un espesor de grano máximo D_{max} de a lo sumo 2 mm, preferentemente de a lo sumo 1 mm;

(c) elementos de reacción puzolánica que tienen un tamaño de partículas elementales de a lo sumo 1 μm , preferiblemente de a lo sumo 0,5 μm ;

(d) constituyentes que son capaces de mejorar la tenacidad de la matriz elegidos entre elementos aciculares o plaquetarios que tienen un tamaño medio de a lo sumo 1 mm, y que están presentes en una proporción volúmica comprendida entre 2,5 y 35% del volumen acumulado de los elementos granulares (b) y de

los elementos de reacción puzolánica (c);

(e) por lo menos un agente dispersante;

y que responde a las siguientes condiciones:

(1) el porcentaje en peso del agua E en relación al peso acumulado del cemento (a) y de los elementos (c) está comprendido en la gama de 8-24%;

(2) las fibras presentan una longitud individual l de por lo menos 2 mm y una relación l/\varnothing , siendo \varnothing el diámetro de las fibras de por lo menos 20;

(3) la relación R entre la longitud media L de las fibras y el espesor del grano máximo Dmax de los elementos granulares es de por lo menos 10;

(4) la cantidad de fibras es tal que su volumen es inferior a 4% y preferiblemente a 3,5% en relación al volumen del hormigón después de la solidificación.

Por lo tanto, gracias a una concepción novedosa del esqueleto granular y de su relación con las fibras de refuerzo, esta solución responde al problema planteado con el compromiso de propiedades mecánicas/reología.

No se cambian sensiblemente las propiedades del hormigón según la invención si se utilizan, también en el seno de la matriz, elementos granulares (b) de un espesor de grano que sobrepasa los 2 mm en una proporción que no sobrepasa 25% del volumen del conjunto de los constituyentes (a) + (b) + (c) + (d).

La presencia de esta clase granular en tal proporción puede considerarse una carga que no participa de los rendimientos mecánicos del material en la medida en la cual:

- el tamaño del grano D50 del conjunto de los constituyentes (a), (b), (c) y (d) es de a lo sumo 200 μm , preferiblemente a lo sumo 150 μm , y
- la relación R entre la longitud media L de las fibras y el tamaño de los granos D75 del conjunto de los constituyentes (a), (b), (c) y (d) es de por lo menos

5, preferiblemente por lo menos 10.

Mediante tamaño de los granos D75 y D50, se entiende respectivamente los tamaños de tamices a través de los cuales los granos que pasan constituyen respectivamente 75% y el 50% del volumen total de los granos.

La invención se refiere por lo tanto también a un hormigón constituido por una matriz cementaria endurecida en la cual están dispersadas las fibras metálicas, proveniente de la mezcla con agua de una composición que comprende, además de las fibras:

(a) cemento;

(b) elementos granulares;

(c) elementos de reacción puzolánica que tienen un tamaño de partículas elementales de a lo sumo $1\text{ }\mu\text{m}$, preferiblemente de a lo sumo $0,5\text{ }\mu\text{m}$;

(d) constituyentes que son capaces de mejorar la tenacidad de la matriz elegidos entre elementos aciculares o plaquetarios que tienen un tamaño medio de a lo sumo 1 mm , y que están presentes en una proporción volúmica comprendida entre 2,5 y 35% del volumen acumulado de los elementos granulares (b) y de los elementos de reacción puzolánica (c);

(e) por lo menos un agente dispersante;

y que responde a las siguientes condiciones:

(1) el porcentaje en peso del agua E en relación al peso acumulado del cemento (a) y de los elementos (c) está comprendido en la gama de 8-24%;

(2) las fibras presentan una longitud individual l de por lo menos 2 mm y una relación l/\varnothing , siendo \varnothing el diámetro de las fibras, de por lo menos 20;

(3) la relación R entre la longitud media L de las fibras y el tamaño de grano D75 del conjunto de los constituyentes (a), (b), (c) y (d) es de por lo menos 5, preferiblemente de por lo menos 10;

(4) la cantidad de fibras es tal que su volumen es inferior a 4% y

preferiblemente a 3,5% del volumen del hormigón después de la solidificación;

(5) el conjunto de los constituyentes (a), (b), (c) y (d) presenta un tamaño de grano D75 de a lo sumo 2 mm, preferiblemente de a lo sumo 1 mm, y un tamaño de grano D50 de a lo sumo 150 μm , preferiblemente de a lo sumo 100 μm .

Las condiciones (3) y (5) se aplican a todos los constituyentes sólidos (a), (b), (c) y (d) confundidos, fuera de las fibras, y no para cada uno de ellos tomado individualmente.

Preferiblemente, la tenacidad de la matriz cementaria es de por lo menos 15 J/m², ventajosamente menos de 20 J/m².

La tenacidad se expresa o bien en términos de esfuerzo (factor de intensidad de esfuerzo: K_c), o bien en términos de energía (tasa crítica de energía: G_c), utilizando el formalismo de la Mecánica Lineal de la Ruptura.

A continuación se describirá en la parte de la descripción relativa a los ejemplos los métodos de las medidas utilizadas para determinar la tenacidad cementaria.

La tenacidad de la matriz cementaria se obtiene mediante agregado a la composición cementaria de elementos (d) de un tamaño medio de a lo sumo 1 mm, preferiblemente de a lo sumo 500 μm que se presentan bajo una forma acicular o bajo la forma de plaquetas. Están presentes en una proporción volúmica comprendida en la gama de 2,5-35%, en particular en la gama de 5-25% del volumen acumulado de los elementos granulares (b) y de los elementos de reacción puzolánica (c).

Dichos elementos, teniendo en cuenta su función de mejoramiento de la tenacidad de la matriz, se denominarán a continuación en la siguiente descripción "elementos de refuerzo".

Mediante "tamaño" de los elementos de refuerzo, se entiende el tamaño de

su dimensión más grande (especialmente la longitud para las formas aciculares).

Puede tratarse de productos naturales o de síntesis.

Los elementos de refuerzo de forma acicular pueden elegirse entre fibras de wollastonita, fibras de bauxita, fibras de mullita, fibras de titanato de potasio, fibras de carburo de silicio, fibras de celulosa o derivados de celulosa, tales como acetato de celulosa, fibras de carbono, fibras de carbonato de calcio, fibras de hidroxiapatita y otros fosfatos de calcio, o los productos derivados obtenidos por trituración de dichas fibras y las mezclas de dichas fibras.

Preferiblemente, se utilizan elementos de refuerzo cuya acicularidad, expresada por la relación longitud/diámetro, es de como mínimo 3 y preferiblemente como mínimo 5.

Las fibras de wollastonita dan buenos resultados. Es así, que la presencia de fibras de wollastonita en la matriz cementaria conduce a una reducción de la microporosidad. Este sorprendente efecto resulta particularmente aparente para hormigones sometidos a una maduración a 20°C (ver lo que se indica a continuación).

Los elementos de refuerzo bajo la forma de plaquetas pueden elegirse entre plaquetas de mica, plaquetas de talco, plaquetas de silicatos mixtos (arcillas), plaquetas de vermiculita, plaquetas de aluminio y aluminatos o silicatos mixtos y las mezclas de dichas plaquetas.

Las plaquetas de mica dan buenos resultados.

Es posible utilizar combinaciones de estas diferentes formas o naturalezas de elementos de refuerzo en la composición del almidón según la invención.

Estos elementos de refuerzo pueden presentar por lo menos en parte en la superficie un revestimiento orgánico polimérico que comprende un látex obtenido a partir de por lo menos uno de los siguientes compuestos: alcohol polivinílico, silanos, siliconatos, resinas de siloxanos, poliorganosiloxanos o el producto de la

reacción entre (1) por lo menos un ácido carboxílico que contiene de 3 a 22 átomos de carbono, (2) por lo menos una amina aromática o alifática polifuncional o una amina substituida, que contiene de 2 a 25 átomos de carbono, y (3) un agente de reticulación que es un complejo de metal hidrosoluble, que contiene por lo menos un metal elegido entre: zinc, aluminio, titanio, cobre, cromo, hierro, circonio y plomo; este producto se describe en forma más particular en la solicitud europea EP-A-0.372.804.

El espesor de este revestimiento puede variar entre 0,01 y 10 μm , preferiblemente entre 0,1 y 1 μm .

Los látex pueden elegirse entre látex de estireno-butadieno, látex acrílicos, látex de estireno-acrílicos, los látex metacrílicos, látex carbonilados y fosfonados. Los látex que presentan funciones complejantes de calcio son los preferidos.

El revestimiento orgánico polimérico puede obtenerse mediante tratamiento en lecho fluido o con ayuda de un mezclador de tipo FORBERG de los elementos de refuerzo en presencia de uno de los compuestos definidos precedentemente.

Los siguientes compuestos son los compuestos preferidos: poliorgano-siloxano H240, resinas de siloxanos Rhodorsil 878, 865 y 1830 PX, Manalox 403/60/WS y WB LS 14, todos ellos comercializados por Rhodia Chimie, siliconatos de potasio.

Este tipo de tratamiento es recomendado particularmente para los elementos de refuerzo que consisten en productos naturales.

En lo que se refiere a las fibras metálicas, puede tratarse de fibras metálicas elegidas entre fibras de acero tal como fibras de acero de alto tenor mecánico, fibras de acero amorfo o bien fibras de acero inoxidable. Eventualmente, las fibras de acero pueden estar revestidas con un metal no ferroso tal como cobre, zinc, níquel (o sus aleaciones).

La longitud individual l de las fibras metálicas es de por lo menos 2 mm y

preferiblemente, está comprendida en la gama de 10-30 mm. La relación l/ϕ , donde ϕ es el diámetro de las fibras es de por lo menos 20 y, preferiblemente de a lo sumo 200.

Pueden utilizarse fibras de geometría variable: pueden ser dentadas, onduladas o rizadas en los extremos. Igualmente se puede trabajar sobre la rugosidad de las fibras y/o utilizar fibras con sección transversal variable; dichas fibras pueden obtenerse con cualquier técnica pertinente, incluyendo por trenzado o cableado de varios alambres metálicos que forman un cordón.

Las cantidad de fibras es tal que su volumen es inferior a 4%, y preferiblemente a 3,5% del volumen del hormigón después de la solidificación.

Ventajosamente, el esfuerzo de adherencia media de las fibras en la matriz cementaria endurecida debe ser de por lo menos 10 MPa, preferiblemente de por lo menos 15 MPa. Este esfuerzo ha sido determinado mediante ensayo de extracción de una monofibra encastrada en un bloque de hormigón tal como se describirá a continuación.

Se observó que los hormigones según la invención presentan a la vez dicho esfuerzo de adherencia de las fibras y una tenacidad de matriz elevada (preferiblemente de por lo menos 15 J/m²) que conduce a la obtención de mejores rendimientos mecánicos, por la sinergia entre estas dos propiedades.

El nivel de adherencia fibra/matriz puede controlarse por varios medios que pueden utilizarse individual o simultáneamente.

De acuerdo con un primer medio, la adherencia de las fibras en la matriz cementaria puede obtenerse por tratamiento de la superficie de las fibras. Este tratamiento de las fibras puede efectuarse mediante por lo menos uno de los siguientes procedimientos:

- ataque químico de las fibras;
- depósito de un compuesto mineral sobre las fibras, especialmente depósito

de sílice o de un fosfato metálico.

El ataque químico puede realizarse, por ejemplo, poniendo en contacto las fibras con un ácido, y luego por neutralización.

El depósito de sílice puede obtenerse poniendo en contacto las fibras con compuestos de silicio, tales como silanos, siliconatos o soles de sílice.

El depósito de fosfato metálico generalmente se obtiene mediante un procedimiento de fosfatación, el cual consiste en introducir las fibras metálicas previamente desoxidadas en una solución acuosa que comprende un fosfato metálico, preferiblemente fosfato de manganeso o de zinc, y filtrar luego la solución para recuperar las fibras. Las fibras son a continuación enjuagadas, neutralizadas, y luego enjuagadas nuevamente. Contrariamente al procedimiento habitual de fosfatación, las fibras obtenidas no deben someterse a un acabado de tipo graso; por el contrario pueden impregnarse eventualmente con un aditivo para otorgarles una protección anticorrosión, o bien para facilitar su puesta en práctica con el medio cementario. El tratamiento de fosfatación puede obtenerse también por enduido o pulverización de la solución de fosfato metálico sobre las fibras.

Puede utilizarse cualquier tipo de procedimiento de fosfatación, y en este sentido nos remitimos a los tratamientos descritos en el artículo de G. LORIN, titulado "La Phosphatation des Métaux" (1973), Ed. EYROLLES.

Según una segunda forma, el esfuerzo de adherencia de las fibras en la matriz cementaria puede obtenerse mediante introducción en la composición de por lo menos uno de los siguientes compuestos: los compuestos de sílice que comprenden principalmente sílice, carbonato de calcio precipitado, alcohol polivinílico en solución acuosa, látex o una mezcla de dichos compuestos.

Mediante compuesto de sílice que comprende principalmente sílice, se entienden aquí los productos de síntesis elegidos entre sílice de precipitación,

soles de sílice, sílices de pirogenación (de tipo Aérosil), sílico-aluminatos, por ejemplo Tixosil 28 comercializado por Rhodia Chimie, o los productos de tipo arcilla (naturales o derivados): por ejemplo esmectitas, silicatos de magnesio, sepiolitas y montmorilonitas.

Se utiliza de manera preferida por lo menos una sílice de precipitación.

Mediante sílice de precipitación, se entiende aquí sílice obtenida por precipitación a partir de la reacción de un silicato de metal alcalino con un ácido en general inorgánico, a un pH adecuado del medio de precipitación, en particular un pH básico, neutro o poco ácido; el modo de preparación del sílice puede ser cualquiera (adición de ácido sobre un pie de cuba de silicato; adición simultánea total o parcial de ácido o de silicato sobre un pie de cuba de agua o de solución de silicato, etc...) y se elige en función del tipo de sílice que se desea obtener; después de la etapa de precipitación se procede en general a una etapa de separación del sílice del medio de reacción de acuerdo con cualquier medio conocido, por prensado por filtrado o filtrado al vacío por ejemplo; se reconoce de esta manera una torta de filtración, la cual se lava si es necesario; esta torta puede, eventualmente después de deslecharse, secarse mediante cualquier medio conocido, especialmente por atomización, y luego eventualmente puede triturrarse y/o aglomerarse.

En general, la cantidad de sílice de precipitación introducida está comprendida entre 0,1% y 5% en peso, expresado en seco, en relación al peso total del hormigón. Más allá de 5%, se observan habitualmente problemas de reología al preparar el mortero.

De preferencia, la sílice de precipitación se introduce en la composición bajo la forma de una suspensión acuosa. Puede tratarse especialmente de una suspensión acuosa de sílice que presenta:

- un tenor de materia seca de 10 a 40% en peso;
- una viscosidad inferior a $4,10^{-2}$ Pa.s para un cizallamiento de 50 s^{-1} ;
- una cantidad de sílice contenida en el sobrenadante de dicha suspensión a 7500 trs/min durante 30 minutos, además de 50% en peso de sílice contenida en la suspensión.

Esta suspensión se describe en forma más particular en la solicitud de patente WO-A-96/01787. La suspensión de sílice Rhoximat CS 60 SL comercializada por Rhodia Chimie conviene particularmente para este tipo de hormigón.

El cemento (a) de la composición de acuerdo con la invención es ventajosamente un cemento Portland tal como los cementos Portland CPA PMES, HP, HPR, CEM I PMES, 52,5 ó 52,5R o HTS (de alto tenor de sílice).

Los elementos granulares (b) son esencialmente arena o mezclas de arenas, tamizadas o trituradas que pueden comprender ventajosamente arenas síliceas, en particular harina de cuarzo.

El tamaño de grano máximo D100 o Dmax de estos elementos es preferiblemente de a lo sumo 6 mm.

Estos elementos granulares están presentes en general a razón de 20 a 60% en peso de la matriz cementaria, preferiblemente de 25 a 50% en peso de dicha matriz.

Los elementos finos de reacción puzolánica (c) presentan un tamaño de partículas elementales de por lo menos $0,1 \mu\text{m}$, a lo sumo $1 \mu\text{m}$, preferiblemente a lo sumo $0,5 \mu\text{m}$. Pueden elegirse entre los compuestos de sílice, especialmente sílice fumante, cenizas voladoras, lechadas de altos hornos, derivados de arcilla tales como caolín. La sílice puede ser sílice fumante proveniente de la industria del circonio más que sílice fumante proveniente de la industria del silicio.

El porcentaje en peso de agua/cemento, tradicional en la técnica del hormigón, puede variar cuando se utilizan substituyentes del cemento que son

especialmente los elementos de reacción de puzolánica. Para las necesidades de la presente invención, se ha definido la relación ponderal de la cantidad de agua E frente al peso acumulado de cemento y de los elementos de reacción puzolónica. Definida de esta manera, esta relación está comprendida entre 8 y 24% aproximadamente, preferiblemente entre 13 y 20% aproximadamente. En la descripción de los ejemplos, se utilizó sin embargo la relación E/C de agua a cemento.

La composición según la invención comprende igualmente un agente dispersante (e). Este agente dispersante es en general un agente fluidificante. El agente fluidificante puede elegirse entre: lignosulfonatos, caseína, polinaftalenos, en particular polinaftalensulfonatos de metales alcalinos, derivados de formaldehído, poliacrilatos de metales alcalinos, policarboxilatos de metales alcalinos y polióxidos de etileno injertados. En general, la composición según la invención comprende de 0,5 a 2,5 partes en peso de agente fluidificante por cada 100 partes en peso de cemento.

Pueden agregarse otros aditivos en la composición de acuerdo con la invención, por ejemplo un agente anti-espumante. A título de ejemplo, pueden utilizarse por ejemplo los anti-espumantes a base de polidimetilsiloxano o propilen glicol.

Entre este tipo de agentes, pueden citarse especialmente siliconas bajo la forma de una solución, de un sólido, y preferiblemente bajo la forma de una resina, de un aceite o de una emulsión, preferiblemente, en agua. Muy particularmente son convenientes las siliconas que comprenden esencialmente los motivos $M (RSiO_{0,5})$ y $(D(R_2SiO))$. En estas fórmulas, los radicales R, idénticos o diferentes, se eligen particularmente entre hidrógeno y los radicales alquilo que comprenden 1 a 8 átomos de carbono, prefiriéndose el radical metilo. La cantidad de motivos está preferiblemente comprendida en la gama de 30 a 120.

La cantidad de dicho agente en la composición generalmente es de a lo sumo 5 partes en peso por cada 100 partes de cemento.

Todos los tamaños de partículas se miden por MET (microscopio electrónico en transmisión) o MEB (microscopio electrónico por barrido).

La matriz puede contener otros ingredientes con la condición de que los mismos no perturben el rendimiento esperado para el hormigón.

El hormigón puede obtenerse mediante cualquier procedimiento conocido por el experto en la materia, especialmente por amasadura de los constituyentes sólidos y agua, por puesta en forma (moldeo, colada, inyección, bombeo, extrusión, calandrado) y luego endurecimiento.

Por ejemplo, para preparar el hormigón, se amasan los constituyentes de la matriz y las fibras de refuerzo con la cantidad de agua adecuada.

Ventajosamente, se respecta el orden de amasado siguiente:

- se amasan los constituyentes pulverulentos de la matriz (por ejemplo 2 minutos);
- se introduce el agua y una fracción, de por ejemplo la mitad de los coadyuvantes;
- se amasa (por ejemplo durante 1 minuto);
- se introduce la fracción restante de los coadyuvantes;
- se amasa (por ejemplo o 3 minutos);
- se introducen las fibras de refuerzo y los constituyentes adicionales;
- se amasa (por ejemplo 2 minutos).

El hormigón se somete a una maduración entre 20°C y 100°C durante todo el tiempo necesario para la obtención de las características mecánicas deseadas.

Se halló de manera sorprendente que una maduración a una temperatura cercana a la temperatura ambiente provee buenos resultados gracias a la selección de los constituyentes de la composición del hormigón.

En este caso, se deja madurar el hormigón, por ejemplo a una temperatura cercana a 20°C.

La maduración puede hacer intervenir igualmente un tratamiento térmico entre 60 y 100°C a presión normal sobre el hormigón endurecido.

El hormigón obtenido puede someterse, especialmente, a un tratamiento térmico entre 60 y 100°C durante 6 horas, hasta 4 días siendo la duración óptima del orden de 2 días, y comenzando el tratamiento después de la solidificación de la mezcla o por lo menos un día después de que comience la solidificación. En general, son suficientes períodos de tratamiento de 6 horas a 72 horas, en la gama de temperaturas precitada.

El tratamiento térmico se realiza en ambiente seco o húmedo o de acuerdo con ciclos en los que se alternan los dos ambientes, por ejemplo 24 horas en ambiente húmedo seguidas de 24 horas en ambiente seco.

Se emplea este tratamiento térmico sobre hormigones que terminaron su solidificación preferiblemente madurados por lo menos durante un día y aún mejor madurados por lo menos 7 días aproximadamente.

La adición de polvo de cuarzo puede resultar útil cuando el hormigón es sometido al tratamiento térmico precitado.

El hormigón puede ser preconstreñido en pre-tensión mediante alambre adherente o por cordón adherente, o puede ser preconstreñido en post-tensión por monocordones recubiertos engrasados o por cables o barras recubiertos, estando el cable constituido por un conjunto de alambres o estando constituido por cordones.

La pre-constricción, ya sea bajo la forma de pre-tensión o bajo la forma de post-tensión está particularmente y bien adaptada para los productos de hormigón de acuerdo con la invención.

Efectivamente, los cables de pre-constricción metálicos tienen siempre

resistencias a la tracción más elevadas, mal utilizadas porque la fragilidad de la matriz que los contiene no permite optimizar las dimensiones de los elementos estructurales en hormigón.

Se experimentó un progreso mediante el uso de hormigones de alto rendimiento; en el caso del hormigón de acuerdo con la invención el material está reforzado con fibras metálicas de manera homogénea lo cual le permite alcanzar rendimientos mecánicos elevados conjuntamente con ductilidad. La pre-constricción de este material mediante cables o cordones cualquiera sea el modo se utiliza entonces en su casi totalidad lo cual crea elementos de hormigón pre-constreñidos muy resistentes en tracción y en flexión y por lo tanto optimizados.

La disminución de volumen obtenida, por el hecho de este incremento de resistencias mecánicas puede generar elementos prefabricados muy livianos. Por tal razón, existe la posibilidad de disponer de elementos de hormigón de gran alcance fácilmente transportables gracias a su liviandad; esto está particularmente bien adaptado para la realización de grandes obras en las que la utilización de la pre-constricción mediante post-tensión es ampliamente utilizada. La solución presenta por lo tanto para este tipo de obras, un ahorro en el montaje y en el tiempo de duración de la obra que son particularmente favorables.

Además, en el caso de la cura térmica, la utilización de la pre-constricción, pre- o post-tensión, disminuye significativamente la contracción.

Esta propiedad es particularmente buscada y el conjunto de ventajas que se citan a continuación asociadas a la baja permeabilidad del producto, son muy ventajosos para la duración y el mantenimiento de las obras a lo largo del tiempo, lo cual hace que este material pueda substituir en forma válida las obras realizadas en acero.

Los hormigones obtenidos de acuerdo con la presente invención presentan en general una resistencia a la tracción directa R_t de por lo menos 12 MPa.

Igualmente pueden presentar una resistencia a la flexión de 4 puntos R_f de menos de 25 MPa, una resistencia a la compresión R_c de por lo menos 150 MPa y una energía de fracturación W_f de por lo menos 2500 J/m² (\Rightarrow Preferencias : a revisar).

La invención se refiere igualmente a la matriz cementaria destinada a la obtención y a la puesta en práctica del hormigón definido preferentemente.

Finalmente, la invención se refiere a premezclas que comprenden la totalidad o parte de los constituyentes necesarios para la preparación del hormigón y de la matriz definidos precedentemente.

BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

La figura 1 es un gráfico obtenido mediante ensayos de flexión con, como ordenadas, los valores de la constricción (MPa) y en abscisas los valores de la flecha (mm) para muestras de hormigón con una relación de $E/C = 0,24$ y una maduración a 20°C, respectivamente con wollastonita (curvas 12,1, 12,2 y 12,3) y sin wollastonita (curvas 11,1, 11,2, 11,3).

La figura 2 es un gráfico análogo a la figura 1 pero para muestras de hormigón de la misma composición con un tratamiento térmico a 90°C : curvas 10,1, 10,2, 10,3 con wollastonita y curvas 9,1, 9,2, 9,3 sin wollastonita.

La figura 3 es un gráfico obtenido mediante los ensayos de tracción con muestras de hormigón que se refieren a las fibras de acero no tratadas con una relación $E/C = 0,20$ y un tratamiento térmico a 90°C, respectivamente con sílice de precipitación (curvas 20,1, 20,2, 20,3) y sin sílice de precipitación (curvas 20,4, 20,5).

La figura 4 es un gráfico obtenido mediante ensayos de flexión para tres muestras con una relación $E/C = 0,25$ y un tratamiento térmico a 90°C respectivamente con las fibras tratadas en su superficie (curvas, 16,1, 16,2) y no tratadas (curva 15,1). En ordenadas, los valores son llevados a los esfuerzos de flexión

(MPa) y en abscisas, los valores de la flecha (mm).

Las figuras 5 a 7 representan la porosidad de las muestras de hormigón, determinadas por la técnica de intrusión de mercurio : en ordenadas, el volumen acumulado (ml/g) y en abscisas el diámetro de los poros (micrones).

La figura 5 corresponde a una muestra de hormigón (ejemplo 1) sometida a una maduración a 20°C.

La figura 6 corresponde a una muestra de hormigón (ejemplo 2) que ha sido sometida a un tratamiento térmico a 90°C.

La figura 7 corresponde a una muestra de hormigón que contiene wollastonita (ejemplo 3) y que ha sido sometida a una maduración a 20°C.

La figura 8 es un gráfico resultante de un análisis mediante técnicas de resonancia magnética nuclear del ^{29}Si de un hormigón según la invención que comprende wollastonita y que ha sido madurado a 20°C (curva 23) comparado con dos de los mismos hormigones que tienen la misma composición pero que están desprovistos de wollastonita uno de los cuales es el objeto de un tratamiento térmico a 90°C (curva 22) y el otro ha sido madurado a 20°C (curva 24). Se observará que las dos curvas 22 y 23 son muy poco diferentes en lo que se refiere a los picos Q2. Estos picos relativos a los dobles enlaces de los radicales SiO_4 son tanto más intensos cuando las cadenas de hidratos son largas. Por lo tanto puede concluirse que el agregado de wollastonita permite obtener a 20°C un alargamiento de la cadena de hidratos del mismo orden que el obtenido mediante tratamiento térmico a 90°C de una composición sin wollastonita.

La figura 9 es un gráfico obtenido mediante los ensayos de adherencia de alambres de acero tratados o sin tratar. En ordenadas, se lleva la fuerza del arrancamiento F (kN) y en abscisas, el desplazamiento U de la fibra (mm).

La figura 10 es un gráfico obtenido mediante los ensayos de adherencia de

los alambres de acero de diferentes diámetros. En ordenadas, se lleva la fuerza del arrancamiento F (kN) y en abscisas, el desplazamiento U de la fibra (mm).

La figura 11 es un gráfico obtenido mediante los ensayos de adherencia de los alambres de acero anclados en el hormigón sobre diferentes longitudes. En ordenadas, se ilustra el esfuerzo de desadherencia (MPa) y en abscisas, la longitud de anclaje (mm).

La figura 12 es un gráfico obtenido mediante ensayos de flexión de un hormigón según la invención en presencia o no de anti-espumante. En ordenadas =, se lleva el esfuerzo MPa y en abscisas =, el desplazamiento para espécimen de hormigón con una relación $E/C = 0,24$.

La figura 13 representa las curvas granulométricas de la suma de los constituyentes (a) + (b) + (c) + (d) para los diferentes hormigones de acuerdo con la invención.

Las figuras 14 y 15 proporcionan las propiedades de los almidones que presentan diferentes repartos granulométricos.

La figura 16 es un gráfico que analiza el valor del efecto de la sinergia entre la presencia de las fibras adherentes y una matriz de alta tenacidad.

Podrá observarse además que una importante característica de la presente invención es la permitir la obtención de hormigones que tienen propiedades mejoradas y que contienen por lo tanto una cantidad de fibras metálicas netamente menor que en las numerosas proposiciones de la técnica anterior. De acuerdo con la invención, efectivamente, las cantidades de fibras metálicas inferiores a 4% y preferiblemente a 3,5% del volumen del hormigón después de la solidificación, y que pueden ser especialmente tan bajas como 2% del volumen del hormigón después de la solidificación, tal como se ilustró en los ejemplos precedentes, son suficientes para obtener hormigones que tienen propiedades mecánicas mejoradas. Este sorprendente efecto se debe de acuerdo a los

conocimientos que poseemos, a la elección de los constituyentes de la composición del hormigón y de sus proporciones en el seno de la misma.

Los ejemplos que siguen ilustran la invención sin limitarla de ninguna manera.

EJEMPLOS

Constituyentes

Para que las comparaciones efectuadas tengan un pleno significado, se emplearon los mismos constituyentes en los ejemplos, y se indican a continuación.

Cemento Portland (a): de alto tenor de sílice, tipo HTS, proveniente de la sociedad LAFARGE (FRANCIA).

Arena (b): arena de cuarzo BE31 de la Société SIFRACO (FRANCIA).

Harina de cuarzo (b): calidad C400 con 50% de granos inferiores a 10 micrones proveniente de la Société SIFRACO (FRANCIA) o calidad C500 con 50% de granos inferiores a 5 micrones proveniente de la Société SIFRACO.

Sílice vítrea (c): microsílice térmica resultante de la fabricación de circonio de tipo "MST", con una superficie "BET" de 18 m²/g proveniente de la Société S.E.P.R. (FRANCIA).

Elemento de refuerzo de tipo acicular (d): Wollastonita(CaSiO₃).

El producto utilizado es comercializado por la Société NYCO : NYCO MINERALS Inc., Willsboro, N.Y. - USA, bajo la denominación NYAD G., cuyas características son:

- tamaño: $l = 300$ micrones en promedio (50 micrones - 500 micrones)
 $d = 20$ micrones
- factor de forma: $l/d = 15$

- granulometría:

< 100 Malla US (%): 99

< 200 Malla US (%): 87

< 325 Malla US (%): 65

- densidad específica: 2,9

Elemento de refuerzo de tipo de wollastonita "triturada" (d):

El producto utilizado es la wollastonita NYCO 1250.

La wollastonita NYCO 1250 presenta un tamaño medio (D50) de 8 micrones, con un factor de forma (l/d) de 3 y un espesor de partículas de:

< 20 micrones (%): 100

< 10 micrones (%): 96

Elemento de refuerzo plaquetario (d): mica (Muscovita : silicato hidrato de Al y K).

El producto utilizado es comercializado por la Société KAOLINS D'ARVOR, 56270 Ploemeur, Francia, bajo la denominación Micarvor MG 160, cuyas características son:

- tamaño: l = 75 micrones en promedio (10 micrones - 200 micrones)

- espesor de las plaquetas: algunos micrones

- granulometría:

< 0,160 mm (%): 98

< 0,040 mm (%): 30

- densidad específica: 2,75

Coadyuvantes:

- agente dispersante líquido X 404 proveniente de la Société MAPEI (ITALIA) o SSP104 fabricado por la Société TAKEMOTO OIL (JAPON) y distribuido por Société MITSUBISHI u OPTIMA 100 fabricado y distribuido por

CHRYSO, polvo de agente dispersante RHOXIMAT B36 producido por RHODIA CHIMIE;

- anti-espumante RHOXIMAT 6352DD comercializado por RHODIA CHIMIE;

- suspensión de sílice RHOXIMAT CS60SL comercializado por RHODIA CHIMIE.

Fibras: Las fibras metálicas son fibras de acero que tienen una longitud de 13 mm, un diámetro de 200 micrones y una resistencia a la ruptura en tracción de 2800 MPa, provistas por la Société BEKAERT (Bélgica). Cuando están presentes, las fibras son introducidas a razón de 2% en volumen o sea un peso en relación al cemento de: 0,222.

La preparación de las muestras de hormigón

En estos ejemplos, el modo operativo para la fabricación de muestras de ensayo consiste en utilizar un amasador de alta turbulencia con rotación de la cuba, de tipo EIRICH R02 que tiene una capacidad de 5 litros, o un EIRICH R08 que tiene una capacidad de 75 litros o un amasador de bajo cizallamiento del tipo HOBART o PERRIER.

En promedio, en todos los ejemplos, el valor del aire arrastrado es inferior a 3,5%.

Maduración

Para los ensayos, se utilizaron dos modos de tratamiento del hormigón endurecido, uno con una maduración a 20°C y el otro con un tratamiento térmico a 90°C.

Maduración a 20°C: Las muestras fueron desmoldadas 48 horas después de la colada. Fueron sometidas a continuación a un tratamiento que consistía en almacenarlas bajo agua a 20°C durante un mínimo de 14 horas. Las muestras fueron maquinadas (si hay necesidad de acuerdo con el ensayo a realizar) 26

días después de la colada y el ensayo se realizó 28 horas después de la colada.

Tratamiento térmico a 90°C: Las muestras fueron desmoldadas 48 horas después de la colada. A continuación fueron sometidas a un tratamiento que consistía en almacenarlas en estufa a 90°C 24 horas en aire húmedo y luego 24 horas en aire seco. La maquinación eventual se efectuó 6 días después de la colada y el ensayo se realizó al cabo de 7 días como mínimo después de la colada.

Medidas

Las medidas se refieren a las características mecánicas de la matriz principalmente la tenacidad y las características mecánicas del material final con las fibras metálicas, en cuanto a flexión, tracción y compresión.

Se efectuaron en dimensiones de las muestras adaptadas a la medida correspondiente.

Tenacidad

Los métodos para medir la tenacidad de la matriz cementaria son los siguientes.

Los ensayos se realizaron en 3 puntos de flexión, a partir de prismas entallados 40x40x250 ó 70x70x280 mm, es decir muestras de una geometría SENB (procedimiento ASTM -E 399-83). Un entallado de perfil en V fue realizado en seco sobre estos prismas, con ayuda de una fresadora equipada con un disco diamantado. La profundidad relativa a/w del entallado es de 0,4 (a: profundidad del entallado, w: altura de la muestra).

El factor crítico de intensidad del esfuerzo K_{Ic} se obtiene a partir de la carga de ruptura F y de la longitud de la fisura a en el punto de la inestabilidad (ensayo de unión desplazamiento, a 10^{-2} mm/s, en una máquina de ensayo universal SCHENCK):

donde

l representa el entre-eje entre los puntos de apoyo (banco de flexión) = 200 mm,

d y w son respectivamente la profundidad y la altura de la muestra,

a es la longitud del entallado en el momento de la ruptura,

Y es un parámetro de forma que depende de la longitud de fisura ($\alpha = a/w$)

En flexión de 3 puntos se utiliza preferiblemente el parámetro Y según (SRAWLEY, J. E. - International Journal of Fracture (1976), Vol. 12, páginas 475 a 476):

En el caso de un comportamiento no lineal (ductilidad), la fuerza retenida F para la estimación de la tenacidad corresponde al fin de la parte lineal (diagrama fuerza-desplazamiento); el punto de inestabilidad corresponde entonces al cebado de la fisura.

La tasa crítica de energía G_c puede obtenerse a partir de las curvas de fuerza-desplazamiento, a condición de extraer las contribuciones debidas a las deformaciones parásitas y relacionar la energía disipada a la sección de ligamento: $(w-a) \times d$.

En deformación plana, existe una relación simple entre K_c y G_c :

donde:

E es el módulo elástico,

ν representan el coeficiente de Poisson.

E se obtiene experimentalmente por vibración de una muestra prismática colocada sobre dos soportes, a partir de la determinación de la frecuencia fundamental (Método GRINDOSONIC).

Adherencia

En lo que se refiere a la adhesión de las fibras metálicas en la matriz cementaria, el esfuerzo es determinado por un ensayo de extracción de una monofibra encastrada en un bloque de hormigón.

Los ensayos se realizaron sobre un alambre continuo de acero de un diámetro: $d = 200 \mu\text{m}$.

Cuando se trataron los alambres, fueron cuidadosamente desengrasados (alcohol/acetona), y luego desoxidados (ácido clorhídrico diluido). Entonces se realizó un tratamiento de tipo fosfatación (fosfatación de manganeso o zinc). Se aportó un cuidado particular para el acabado: neutralización, enjuague, y secado.

Los alambres fueron encastrados en bloques de hormigón de las dimensiones de 4X4X4 cm. La composición utilizada es la misma que la que se utilizó para las muestras de ensayo mecánico (flexión, compresión, y tracción): la relación agua/cemento se fijó a 0,25.

Los alambres encastrados en una longitud de 10 mm fueron extraídos por tracción con ayuda de una máquina de ensayo universal (SCHENCK), a una velocidad de 0,1 mm/min.

El esfuerzo ejercido se midió a través de un captador de fuerza adaptado, y el desplazamiento del alambre (en relación a la muestra) a través de un captador de extensometría.

El esfuerzo de adherencia medio se estimó a partir de la fórmula simplificada siguiente:

donde F_{max} es la fuerza máxima medida, ϕ es el diámetro del alambre y la longitud de encastre.

Tenor de tracción directa: R_t

Se trata del valor obtenido en tracción directa sobre muestras alteradas maquinadas a partir de prismas de 70X70X280 mm, o sea una sección útil de 70X50 mm sobre una altura de 50 mm. Las muestras, cuidadosamente alineadas se montaron de manera rígida sobre el puesto de ensayo (UTS) con un solo grado de libertad.

donde F_{max} representa la fuerza máxima en N (pico) para una ruptura que tiene lugar en la sección central 70X50 mm.

La fijación de la muestra sobre el bocado de la máquina de tracción se realizó mediante adhesión y luego por presión con bulones.

Tenor de flexión: R_f

R_f es el valor obtenido en flexión de 4 puntos sobre muestras prismáticas de 70X70X280 mm montadas sobre soportes rotulados según las normas NFP 18-411 y NFP 18-409 y ASTM C 1018.

donde F_{max} representa la fuerza máxima en N (fuerza pico), $l = 210$ mm y $l' = l/3$ y $d = w = 70$ mm.

Tenor de compresión: R_c

R_c es el valor obtenido en compresión directa sobre muestra cilíndrica rectificadora (diámetro 70 mm/altura 140 mm).

donde F representa la fuerza a la ruptura en N, y d el diámetro de las muestras (70 mm).

Energía de fracturación: W_f

W_f es el valor obtenido por determinación del área total bajo la curva fuerza-flecha, en un ensayo de flexión de 4 puntos sobre prismas 70X70X280 mm. La flecha medida fue corregida con el fin de determinar el desplazamiento real de la muestra:

donde F es la fuerza aplicada, δ el desplazamiento real (flecha corregida), d_w la sección de la muestra.

EJEMPLOS 1 a 17: influencia de los elementos de refuerzo (d)

Con fines comparativos se presentan los resultados obtenidos con hormigón en el que se hicieron variar los constituyentes de la composición, y para algunos de entre ellos donde ciertos constituyentes fueron omitidos, especialmente las fibras con el fin de hacer resaltar las ventajas sorprendentes obtenidas utilizando la combinación de los constituyentes de una composición de hormigón según la invención.

Los resultados de los ejemplos 1 a 17 han sido reunidos en la tabla I siguiente que provee la composición de las muestras de hormigón realizadas y

sus parámetros respectivos.

Las cantidades de los elementos de refuerzo (d), en lo que sigue se indican en porcentaje en volumen relación al volumen acumulado de los elementos granulares (b) y de los elementos de reacción puzolánica (c).

Las cantidades de los otros constituyentes del hormigón (a, b, c, coadyuvante, agua) se expresan en partes en peso.

El coadyuvante utilizado en estos ejemplos 1 a 17 es un agente dispersante.

La arena utilizada es arena BE31 cuyo reparto granulométrico está indicado en el ejemplo 24.

Tabla 1

Ejemplo N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cemento Portland (a)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sílice vítrea (c)	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325
Harina de cuarzo (b)	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
Wollastonita acicular (d)	0	0	0,39	0,39	0	0,240	0	0	0	0,240
Mica (d)	0	0	0	0	0	0	0,220	0	0	0
Wollastonita triturada (d)	0	0	0	0	0	0	0	0,150	0	0
Arena (b)	1,430	1,430	1,070	1,070	1,430	1,215	1,215	1,29	1,430	1,215
Dispersante (extracto seco)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
Agua	0,200	0,200	0,270	0,270	0,250	0,250	0,300	0,250	0,240	0,240
Fibras no tratadas (% volumen)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
Fibras tratadas (% volumen)										
Maduración o tratamiento térmico (°C)	20	90	20	90	90	90	90	90	90	90
Tenacidad G (J/m ²)	9	10	20	22	13	25	22	15	10	27
Resistencia a la flexión (MPa)	16,6	16,5	11,1	14,3					21,3	28,7
Resistencia a la tracción (MPa)	7,1	6,7	6,0	6,7					10,8	13,0
Resistencia a la compresión (MPa)		198,2		201,8					182,3	180,3

Tabla I (continuación)

Ejemplo N°	11	12	13	14	15	16	17
Cemento Portland (a)	1	1	1	1	1	1	1
Sílice vítrea (c)	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325
Harina de cuarzo (b)	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
Wollastonita acicular (d)	0	0,240	0	0	0	0	0,240
Mica (d)	0	0	0	0,220	0	0	0
Wollastonita triturada (d)	0	0	0	0	0	0	0
Arena (b)	1,430	1,215	1,43	1,215	1,430	1,430	1,215
Dispersante (extracto seco)	0,012	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Agua	0,240	0,240	0,300	0,300	0,250	0,250	0,250
Fibras no tratadas (% volumen)	2	2	2	2	2	0	0
Fibras tratadas (% volumen)	0	0	0	0	0	2	2
Maduración o tratamiento térmico (°C)	20	20	90	90	90	90	90
Tenacidad G (J/m ²)	10	26	9	24	12	12	29
Resistencia a la flexión (MPa)	18,5	25,1	14	25	19	26	34
Resistencia a la tracción (MPa)	7,7	11,1					

N.B.: En la tabla las cantidades de los constituyentes se expresan en partes en peso, la cantidad de cemento se toma como referencia y es igual a una parte en peso con excepción de las fibras, que usando están presentes, se indican en porcentaje del volumen total de la composición, $D_{50} = 75 \mu\text{m}$ y $D_{75} = 350 \mu\text{m}$.

La comparación de los ejemplos 1 y 2 (muestras sin wollastonita) con los ejemplos 3 y 4 (muestras con 17% de wollastonita acicular) demuestra que la tenacidad casi es el doble para un hormigón que no contiene fibras metálicas. Se obtienen resultados parecidos comparando el ejemplo 5 (muestra sin wollastonita) con el ejemplo 6 (muestra con 10% de wollastonita acicular), siempre tratándose de un hormigón sin fibras. Este mejoramiento de la tenacidad (agregado de wollastonita) depende de la calidad de la naturaleza del cemento.

La tenacidad del hormigón con las fibras metálicas sin wollastonita es de 10 J/m², (ejemplo 9) y pasa a 27 J/m² cuando se incorpora 10% de wollastonita (ejemplo 10).

La energía de fracturación global es el resultado de un efecto acumulativo de energía consumida por la matriz (tenacidad GC) y de energía disipada por las fibras metálicas.

Se constata que la presencia de los elementos de refuerzo aciculares, especialmente wollastonita, en una matriz cementaria particularmente poco porosa amplifica la transmisión de los esfuerzos entre las fibras y el hormigón, lo cual permite, gracias a un efecto de sinergia, sacar un partido óptimo de las fibras, que están presentes en pequeñas cantidades en relación al hormigón y mejorar de esta manera la ductilidad del material.

Esta combinación de la porosidad de la matriz cementaria, de elementos de refuerzo aciculares o plaquetarios y de fibras metálicas presentes en pequeñas cantidades en relación al hormigón constituye una característica importante y original de la presente invención.

Los elementos de refuerzo anisotrópicos ejercen de este modo un rol importante para el control de la microfisuración y para la transferencia de cargas entre matriz y fibras metálicas. Igualmente se constata un mejoramiento de las características mecánicas del material en cuanto a la flexión, tracción y

compresión.

La utilización de los elementos de refuerzo plaquetarios de tipo mica (ejemplo 7) provee igualmente un neto mejoramiento de la tenacidad.

La utilización de los elementos de refuerzo del tipo de wollastonita triturada (ejemplo 8), actúa positivamente sobre la tenacidad de la matriz, pero en menor medida que la wollastonita acicular.

La introducción de un elemento de refuerzo acicular conduce a un aumento significativo de la tenacidad; este aumento es más débil cuando el factor de acicularidad (o de tamaño) disminuye.

Pueden efectuarse observaciones parecidas para las otras características mecánicas. De esta manera la utilización de wollastonita acicular mejora netamente la resistencia a la flexión: ver la comparación entre los ejemplos 11 (sin wollastonita acicular) y 12 (con wollastonita acicular). Lo mismo sucede para los refuerzos de tipo mica: comparar los ejemplos 13 (sin mica) y 14 (con mica).

En general, el tratamiento térmico a 90°C ejerce un efecto favorable sobre la resistencia a la flexión, que en este caso mejora.

Sin embargo, incluso con una maduración a 20°C, la resistencia a la flexión aumenta mediante la introducción de wollastonita acicular (ejemplo 12 comparado con el ejemplo 11, estando realizado este último con una composición sin wollastonita).

Igualmente, la adición de wollastonita acicular mejora sensiblemente las resistencias a la tracción con maduración a 20°C tal como con tratamiento térmico a 90°C: a este título, se pueden comparar los ejemplos 11 y 15 sin wollastonita acicular (testigo) y los ejemplos 12 y 17 con 10% de wollastonita acicular.

Se observa en promedio una mejora de +25% de la resistencia intrínseca a la tracción directa del hormigón con fibra, gracias al agregado de wollastonita.

En todos los ejemplos, se obtienen resistencias a la compresión superiores

a 150 MPa para composiciones de hormigón que presentan valores E/C inferiores a 0,27.

Además, la introducción de wollastonita acicular mejora la regularidad de las características mecánicas del hormigón.

Esta ventajosa propiedad se ilustra mediante los gráficos de la figura 1 que representan, tal como se indicó precedentemente ensayos de flexión efectuados sobre tres muestras de composiciones de hormigón con fibras (E/C = 0,24, maduración a 20°C) idénticos en todos los puntos excepto por la presencia o la ausencia del elemento de refuerzo de tipo de wollastonita acicular. Las composiciones sin wollastonita de acuerdo con el ejemplo 11 proveen las curvas (curvas 11,1, 11,2, 11,3) ampliamente desplazadas lo cual corresponde a una fuerte dispersión de los resultados de flexión. Por el contrario, con las composiciones que contienen wollastonita, a saber 10% de wollastonita acicular, de acuerdo con el ejemplo 12, las tres curvas (curvas 12,1, 12,2 y 12,3) obtenidas están muy cerradas y casi se confunden, lo cual significa una eliminación casi total de la dispersión de las características mecánicas del material.

Pueden aplicarse las mismas observaciones a los gráficos de la figura 2 referentes a las muestras de hormigón sin wollastonita, de acuerdo con el ejemplo 9, (curvas 9,1, 9,2, 9,3) y con la wollastonita, de acuerdo con el ejemplo 10 (curvas 10,1, 10,2, 10,3), siendo los hormigones ensayados hormigones con fibras que tiene un valor E/C = 0,24 y un tratamiento térmico a 90°C.

El ejemplo 17 se refiere a un hormigón que comprende a la vez la wollastonita acicular y las fibras tratadas. Se constató que se obtienen los mejores rendimientos de tenacidad y resistencia a la flexión con este hormigón. Por lo tanto es mejor que el hormigón del ejemplo 10 que no comprende más que wollastonita acicular - y las fibras no tratadas - y mejor que el hormigón de ejemplo 16 que no contiene más que las fibras tratadas y ninguna wollastonita

acicular.

La combinación de fibras adherentes/matriz de alta tenacidad conduce la obtención de rendimientos mejorados.

Surge claramente en las curvas de la figura 5 (ejemplo 1), 6 (ejemplo 2) y 7 (ejemplo 3) que en el caso de muestras de hormigón sin wollastonita, se obtiene una débil porosidad únicamente si los hormigones han sido sometidos a un tratamiento térmico. Por el contrario, la adición de elementos de refuerzo de tipo de wollastonita a la composición de estos hormigones conduce de manera sorprendente a una débil porosidad incluyendo el caso de los hormigones sometidos a una maduración a 20°C.

La adición de wollastonita permite obtener una buena densificación del hormigón (porosidad reducida), y esto sucede igualmente para las condiciones normales de maduración a 20°C.

EJEMPLOS 18 - 23: Influencia de la naturaleza de las fibras

Los ejemplos 15 y 16 precedentes ilustran la influencia del mejoramiento del tratamiento de las fibras. De esta manera, la figura 4 muestra el mejoramiento de la adhesión de fibras/matriz que se obtienen para un tratamiento de superficie (fosfatación) de las fibras (curvas 16,1, 16,2), frente a las fibras no tratadas (curvas 15,1), incorporándose las fibras a una matriz tal como la definida en la Tabla I en los ejemplos 15 (fibras no tratadas) y 16 (fibras tratadas).

Ejemplo 18 - Varillas tratadas o no tratadas

Este ejemplo se refiere a los ensayos de adhesión de varillas realizados mediante el método general indicado más arriba - excepto que los alambres de acero son reemplazados por varillas de acero de un diámetro $d = 5 \text{ mm}$.

Estas varillas son introducidas en muestras de hormigón sin fibras.

La composición del hormigón en partes en peso es la siguiente:

Cemento Portland HTS:	1
Sílice vítrea MST:	0,325
Harina de Cuarzo C400:	0,300
Arena BE31:	1,43
Agente dispersante (extracto seco):	0,02
Agua:	0,25

Los ensayos de adhesión se realizaron en varillas, una de acero no tratada y la otra de acero tratada mediante fosfatación con manganeso según el protocolo general mencionado precedentemente excepto que se trata de varillas y no de alambres de acero.

Con la varilla no tratada, el esfuerzo de adhesión medio medido es de 10 MPa mientras que con la varilla fosfatada, es de 15 MPa.

Ejemplo 19 - Alambres de acero tratados o no tratados

Este ejemplo se refiere a ensayos de adhesión de alambres de acero - y no de varillas - realizados mediante el método general indicado más arriba. Las varillas son introducidas en muestras de hormigón sin fibras que presentan la misma composición que el del ejemplo 18.

Los ensayos de adhesión se realizaron sobre alambres, uno de acero no tratado y el otro de acero tratado por fosfatación con zinc según el protocolo general mencionado precedentemente.

Los resultados se reunieron en la figura 9: la fuerza del arrancamiento aumenta de 10 MPa (alambres no tratados) a 25 MPa (alambres tratados).

Ejemplo 20 - Utilización de la sílice de precipitación para aumentar la adhesión

Este ejemplo está destinado a ilustrar el mejoramiento de la adhesión fibras/matriz obtenida modificando la composición de la matriz cementaria del

ejemplo 18 mediante incorporación de sílice de precipitación, utilizándose dicha matriz en un hormigón con fibras metálicas no tratadas, con un valor E/C de 0,2 y un tratamiento térmico de 24 horas/24 horas a 90°C.

Los resultados están representados en la figura 3 que es un gráfico que reproduce las curvas obtenidas en un ensayo de tracción sobre muestras de 7X7X28 cm para una muestra de hormigón con 2% en volumen de fibras de acero no tratadas, cuya matriz fue o no modificada por adición de una cantidad de suspensión de sílice RHOXIMAT CS 960 SL de RHODIA CHIMIE igual a 1,9% equivalente en peso seco en relación al cemento (o sea 0,65% en peso en relación al hormigón).

En la figura 3, las ordenadas representan el esfuerzo a la ruptura expresado en MPa y las abscisas el desplazamiento transversal expresado en mm. Las curvas (20,1, 20,2, 20,3) dan los resultados para tres muestras con sílice y las curvas (20,4, 20,5) para dos muestras idénticas sin sílice. Podrá observarse que la dispersión de los resultados se reduce sensiblemente. Además, la energía disipada después del esfuerzo máximo aumenta considerablemente.

Ejemplo 21 - Influencia del diámetro de las fibras

Este ejemplo está destinado a ilustrar la influencia del diámetro de las fibras sobre la adhesión de fibra/matriz.

La composición de la matriz cementaria es la de los ejemplos 18 y 19. En esta matriz se introdujeron alambres de acero de diámetros de 100 y 200 μm anclados en la matriz sobre una longitud de 5 mm.

Los resultados aparecen en la figura 10. Para una longitud de anclado de 5 mm, la adherencia aumenta muy sensiblemente cuando el diámetro aumenta de a 0,1 mm a 0,2 mm.

Ejemplo 22 - Influencia de la longitud de anclado de las fibras

Este ejemplo está destinado a ilustrar la influencia de la longitud del

anclado de las fibras sobre la adhesión de fibra/matriz.

La composición de la matriz cementaria es la de los ejemplos 18 y 19. Se introdujeron en esta matriz los alambres de acero de diámetros de 100 y 200 μm sobre diferentes longitudes de anclado.

Los resultados aparecen en la figura 11. Para un alambre con características dadas, el esfuerzo de desadherencia está constante para longitudes de enclavas de 5 a 15 mm.

Ejemplo 23 - Agregado de un anti-espumante

Un medio de aumentar la adhesión de las fibras consiste igualmente en agregar un anti-espumante/desespumante a la composición de hormigón. De esta manera, se retoma el ejemplo 16 agregando un determinado porcentaje de anti-espumante/desespumante.

Los resultados aparecen en la figura 12. Se observa un beneficio del esfuerzo de desprendimiento maximal (pico) y sobre todo una más grande energía de ruptura que se debe a una mejor cualidad del inter-frente fibras/matriz, EJEMPLOS 25 - 29: Influencia de la granulometría de los constituyentes de hormigón

Se prepararon 5 hormigones según la invención a partir de los constituyentes (a), (b), (c) y (d) que presentan diferentes repartos granulométricos. Estos repartos granulométricos están representados en la figura 13.

Se observa que para estos 5 hormigones, los constituyentes (a), (b), (c) y (d) verifican la condición: el tamaño de grano D75 es siempre inferior a 2 mm, y el tamaño de grano D50 es inferior a 150 μm . Los repartos granulométricos se diferencian por el valor del tamaño de grano máximo D100 o Dmax que varía entre 600 μm y 6 mm.

Los hormigones se fabricaron a partir de estos 5 repartos granulométricos. Sus composiciones se reunieron en la Tabla 2. La composición se expresa en

porcentaje en volumen en relación al conjunto de la composición.

Tabla 2

Ejemplo	25	26	27	28	29
Dmax (mm)	0,6	1	2,5	4	6
Cemento HTS (a)	23	23	23	22	23
Sílice MST (c)	10	10	10	10	10
Cuarzo C500 (b)	7	7	7	7	7
Arenas BE31 (b)	37	14	13	8	11
Arena NI 0,4/1,3 (b)	0	24	0	0	0
Arena BB 0,5/2,5 (b)	0	0	25	10	7
Arena BB 2/4 (b)	0	0	0	21	0
Arena SK 3/6 (b)	0	0	0	0	20
Wollastonita NYADG (d)	5	5	5	5	5
Fibras BEKAERT	2	2	2	2	2
OPTIMA 100	3	3	3	3	3
Agua	13	12	12	12	12

Las diferentes granulometrías se obtuvieron trabajando sobre la naturaleza y cantidad de las arenas.

Las resistencias de compresión y las resistencias de flexión de 3 puntos para 3 muestras diferentes de cada hormigón 25 a 29 se dan en las figuras 14 y 15.

Se observa que cualquiera sea el reparto granulométrico y especialmente el valor de Dmax la resistencia de compresión sigue siendo superior a 150 MPa y la resistencia a la flexión sigue siendo superior a 30 MPa.

EJEMPLOS 30 - 33 - Efecto de sinergia de tenacidad de la matriz/adhesión de las fibras

Tal como se indica en el ejemplo 17, existe un efecto de sinergia entre la presencia de las fibras adherentes unidas a una matriz de alta tenacidad.

Los ejemplos 30-33 valorizan esta sinergia. La fórmula de base de los ejemplos 30 a 33 es en la Tabla 3.

En el ejemplo 30, las fibras son fibras de acero, la wollastonita no está presente.

En el ejemplo 31, las fibras son fibras de acero y la wollastonita está presente.

En el ejemplo 32, las fibras son fibras de acero tratadas por fosfatación de zinc, la wollastonita no está presente.

En el ejemplo 33, las fibras son fibras de acero tratadas por fosfatación de zinc, la wollastonita está presente.

Los hormigones se sometieron a un curado a 90°C.

Los hormigones de los ejemplos 30 a 33 se sometieron a ensayo de flexión de 3 puntos, y los resultados aparecen en las curvas 30, 31, 32 y 33 de la figura 16 y los valores claves se reunieron en la Tabla 3, donde se indican las composiciones en porcentajes en peso con respecto al cemento.

Tabla 3

Ejemplo N°	30	31	32	33
Cemento Portland (a)	1	1	1	1
Sílice vítrea (c)	0,325	0,325	0,325	0,325
Harina de cuarzo (b)	0,3	0,3	0,3	0,3
Wollastonita acicular (d)	0	0,24	0	0,24
Arena (b)	1,43	1,215	1,43	1,215
Dispersante (extracto seco)	0,018	0,018	0,018	0,018
Agua (e/c)	0,19	0,22	0,19	0,22
Fibras no tratadas (% volumen)	2	2	0	0
Fibras tratadas (% volumen)	0	0	2	2
Tratamiento térmico (°C)	90	90	90	90
Límite elástico (MPa)	16	28	29	36
Restricción al pico (MPa)	25	35	37,5	50
Flecha al pico (mm)	0,8	0,8	1	1,2

Se obtuvieron las mejores propiedades mecánicas para las fibras tratadas y la matriz que comprende la wollastonita del ejemplo 33. Se observó además un efecto de batido importante y un mecanismo de deterioro por multifisuración (red de microfisuras paralelas) y de no de monofisuración.

REIVINDICACIONES

Habiendo así especialmente descripto y determinado la naturaleza de la presente invención y la forma como la misma ha de ser llevada a la práctica, se declara reivindicar como de propiedad y derecho exclusivo:

1. Hormigón constituido por una matriz cementaria endurecida en la cual están dispersadas fibras metálicas, provenientes de la mezcla con agua de una composición que comprende: cemento; elementos granulares; elementos de reacción puzolánica; por lo menos un agente dispersante, y dichas fibras; caracterizado por el hecho de que comprende además constituyentes que son capaces de mejorar la tenacidad de la matriz elegidos entre elementos aciculares o plaquetarios que tienen un tamaño medio de a lo sumo 1 mm, y que están presentes en una proporción volumétrica comprendida entre 2,5 y 35% del volumen acumulado de los elementos granulares y de los elementos de reacción puzolánica; teniendo los elementos de reacción puzolánica un tamaño de partículas elementales de a lo sumo 1 μm , preferiblemente de a lo sumo 0,5 μm ; presentando las fibras una longitud individual l de por lo menos 2 mm y una relación l/\varnothing , donde \varnothing es el diámetro de las fibras, de por lo menos 20, y la cantidad de fibras es tal que su volumen es inferior al 4%, y preferentemente inferior a 3,5%, respecto del volumen del cemento después del endurecimiento; el porcentaje en peso del agua en relación al peso acumulado del cemento y de los elementos de reacción puzolánica está comprendido en la gama de 8 - 24%; y el cemento presenta al menos una de las siguientes particularidades adicionales: los elementos granulares tienen un tamaño máximo de grano D_{max} de a lo sumo 2 mm, preferentemente de a lo sumo 1 mm, y la relación entre la longitud media L de las fibras y la dimensión D_{max} es de por lo menos 10; el conjunto de componentes formado por el cemento, los elementos granulares, los elementos de reacción puzolánica y los constituyentes capaces de mejorar la tenacidad

presenta un tamaño de grano D75 de a lo sumo 2 mm, preferentemente de a lo sumo 1 mm, y un tamaño de grano D50 de a lo sumo 150 μm , preferentemente a lo sumo 100 μm , y la relación entre la longitud media L de las fibras y el tamaño del grano D75 es de por lo menos 5, preferentemente de por lo menos 10.

2. Hormigón según la reivindicación 1, caracterizado porque por la tenacidad de la matriz cementaria es de por lo menos 15 J/m², ventajosamente de por lo menos 20 J/m².

3. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los elementos constituyentes capaces de mejorar la tenacidad tienen un tamaño medio de a lo sumo 500 μm .

4. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los elementos constituyentes capaces de mejorar la tenacidad están presentes en una proporción volmétrica comprendida en la gama de 5%-25% del volumen acumulado de los elementos granulares y de los elementos de la reacción puzolánica.

5. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los elementos constituyentes capaces de mejorar la tenacidad - o elementos de refuerzo - de forma acicular se eligen entre las fibras de wollastonita, fibras de bauxita, fibras de mullita, fibras de titanato de potasio, fibras de carburo de silicio, fibras de celulosa o derivados de celulosa, fibras de carbono, fibras de fosfato de calcio, especialmente de hidroxiapatita HAP, fibras de carbonato de calcio o los productos derivados obtenidos por trituración de dichas fibras y de las mezclas de dichas fibras.

6. Hormigón según la reivindicación 5, caracterizado porque los elementos constituyentes capaces de mejorar la tenacidad son fibras de wollastonita.

7. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los elementos aciculares constituyentes capaces de mejorar

la tenacidad presentan una relación de longitud/diámetro de un mínimo de 3 y de preferencia un mínimo de 5.

8. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque los elementos constituyentes capaces de mejorar la tenacidad - o elementos de refuerzo - plaquetarios se eligen entre las plaquetas de mica, plaquetas de talco, plaquetas de silicatos mixtos (arcillas), plaquetas de vermiculita, plaquetas de alúmina y aluminatos o silicatos mixtos y las mezclas de dichas plaquetas.

9. Hormigón según la reivindicación 8, caracterizado porque los elementos constituyentes capaces de mejorar la tenacidad son plaquetas de mica.

10. Hormigón según las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque por lo menos una parte de los elementos de refuerzo constituyentes capaces de mejorar la tenacidad presentan en la superficie un revestimiento orgánico polimérico que comprende un látex o que se obtiene a partir de por lo menos uno de los siguientes compuestos: alcohol polivinílico, silanos, siliconatos, resinas de siloxanos, poliorganosiloxanos o el producto de la reacción entre (i) por lo menos un ácido carboxílico que contiene de 3 a 22 átomos de carbono, (ii) por lo menos una amina aromática o alifática polifuncional o una amina substituida, que contiene de 2 a 25 átomos de carbono, y (iii) un agente de reticulación que es un complejo de metal hidrosoluble, que contiene por lo menos un metal elegido de: zinc, aluminio, titanio, cobre, cromo, hierro, circonio y plomo.

11. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el esfuerzo de adherencia medio de las fibras metálicas en la matriz cementaria endurecida es de por lo menos 10 MPa, preferiblemente de por lo menos 15 MPa.

12. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque las fibras metálicas son fibras de acero.

13. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque presenta una geometría variable.

14. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque las fibras metálicas son fibras que han sido sometidas a un ataque químico que tiene como objetivo aumentar la adhesión de la fibra en la matriz cementaria.

15. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, caracterizado porque las fibras metálicas son fibras que comprenden un depósito de un compuesto mineral, tal como sílice o de un fosfato metálico que tiene como objetivo aumentar la adherencia de la fibra en la matriz cementaria.

16. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque las fibras metálicas tienen una longitud comprendida en la gama de 10-30 mm.

17. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la matriz cementaria contiene complementariamente por lo menos uno de los compuestos siguientes, que tiene como función aumentar la adhesión de las fibras en la matriz: los compuestos de sílice que comprenden principalmente sílice, carbonato de calcio precipitado, alcohol polivinílico en solución acuosa, un látex o una mezcla de dichos compuestos.

18. Hormigón según la reivindicación 17, caracterizado porque el compuesto de sílice es sílice de precipitación introducida en un tenor comprendido entre 0,1% y 5% en peso, expresado en seco, en relación al peso total del hormigón.

19. Hormigón según la reivindicación 18, caracterizado porque el sílice de precipitación es introducido en la composición bajo la forma de una suspensión acuosa.

20. Hormigón según la reivindicación 19, caracterizado porque la

suspensión acuosa presenta: un tenor de materia seca comprendido entre 10 a 40% en peso; una viscosidad inferior a $4,10^{-2}$ Pa.s para un cizallamiento de 50 s^{-1} ; una cantidad de sílice contenido en el sobrenadante de dicha suspensión a 7.500 trs/min durante 30 minutos, además de 50% en peso de sílice contenido en la suspensión.

21. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la relación l/ϕ de las fibras es de a lo sumo 200.

22. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el tamaño de grano máximo D_{max} de los elementos granulados es de a lo sumo 6 mm.

23. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los elementos granulares son arenas o mezclas de arena, tamizados o triturados, que pueden comprender ventajosamente arenas silíceas, en particular harina de cuarzo.

24. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque dichos elementos granulares están presentes a razón de 20 a 60%, de preferencia de 25 a 50% en peso de la matriz cementaria.

25. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los elementos de reacción puzolánica comprenden elementos elegidos entre los compuestos de sílice, especialmente sílice fumante, cenizas voladoras o lechadas de altos hornos.

26. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el porcentaje en peso de agua en relación al peso acumulado de cemento y de los elementos de reacción puzolánica está comprendido en la gama de 13-20%.

27. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque está precontraído en pre-tensión.

28. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 26, caracterizado porque está precontraído en post-tensión.

29. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque presenta una resistencia a la tracción directa de por lo menos 12 MPa.

30. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque presenta una resistencia a la flexión de 4 puntos (módulo de ruptura) de por lo menos 25 MPa.

31. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque presenta una resistencia a la compresión de por lo menos 150 MPa.

32. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque presenta una energía de fracturación de por lo menos 2500 J/m².

33. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque se somete, después de solidificación, a una maduración a una temperatura cercana a la temperatura ambiente, por ejemplo de 20°C, durante todo el período necesario para obtener las características mecánicas deseadas.

34. Hormigón según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 32, caracterizado porque se somete después de la solidificación a un tratamiento térmico entre 60°C y 100°C a presión normal.

35. Hormigón según la reivindicación 34, caracterizado porque la duración del tratamiento térmico es de 6 horas a 4 días, en general de 6 horas a 72 horas.

36. Matriz cementaria formada por los componentes del hormigón de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 35, caracterizada por el hecho de que excluye las fibras metálicas.

37. Premezclas caracterizadas por el hecho de que comprenden la totalidad o parte de los constituyentes necesarios para la preparación de la matriz según la reivindicación 36 o del hormigón según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 35, caracterizadas por el hecho de que las premezclas no comprenden agua.

p.p. de: BOUYGUES*LAFARGE*RHODIA CHIMIE

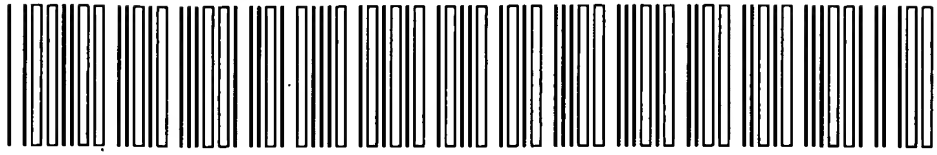
RESUMEN DE LA INVENCION

La invención se refiere a un nuevo hormigón de fibras metálicas, una matriz cementaria y una premezcla cementaria.

El hormigón comprende, además del cemento y las fibras, granulados, elementos de reacción puzolánica, constituyentes que son capaces de mejorar la tenacidad de la matriz, por lo menos agentes dispersante y agua, componentes que tienen las características y/o las proporciones definidas.

La invención se aplica especialmente a la obtención de una matriz cementaria que tiene una tenacidad de por lo menos 15 J/m^2 y un hormigón que tiene una resistencia a la flexión de cuatro puntos de por lo menos 25 MPa, una resistencia a la compresión de por lo menos 150 MPa y una energía de fractura de por lo menos 2500 J/m^2 .

IDS REFERENCES



FOR



Patente Nro.	PD 014702
Concedida	20/12/2005
Fecha de vencimiento	
Acta Nro.	P 99 01 01022
Presentada	10/03/1999
Clase	C04B16/06 28/04
Título	MATERIAL DE CONSTRUCCION REFORZADO CON FIBRA, ARTICULO QUE COMPRENDE EL MATERIAL Y METODO PARA LA PRODUCCION DEL MATERIAL
Solicitante/Titular	DALHOUSIE UNIVERSITY
Domicilio	6299 South Street c/o Technology Transfer Office Arts & Administration Building Halifax, Nova Scotia, B3H 4H6 CANADA
Prioridad:	US - 09/038860 - 11/03/1998
Reválida	
Adicional	
Divisional	
Carpeta	202.529

17393-1AR KPM/JP/MP

20102025290300

MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN REFORZADO CON FIBRA,
ARTICULO QUE COMPRENDE EL MATERIAL Y METODO PARA LA
PRODUCCION DEL MATERIAL
CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se relaciona con un material de construcción reforzado con fibra, un artículo fabricado con el material y un método para la producción del material de construcción reforzado con fibra sintética, la que bajo agitación, se fibrila progresivamente, para producir materiales de construcción con perfeccionadas propiedades de rendimiento. En otro aspecto de la presente invención, se proporcionan artículos preparados a partir de los materiales reforzados con fibra que se describen anteriormente.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

El hormigón posee la mayor producción de todos los materiales hechos por el hombre. Comparado con otros materiales de construcción, posee muchas ventajas, incluyendo bajo costo, disponibilidad general de materias primas, adaptabilidad y utilización bajo diferentes condiciones ambientales. Por lo tanto, el hormigón probablemente continuará siendo el material de construcción más dominante en el futuro previsible. Desafortunadamente, el hormigón corriente además es un material frágil con muy baja resistencia a la tracción y capacidad de esfuerzo, y generalmente requiere refuerzo antes de que pueda ser utilizado extensivamente como un material de construcción.

La idea del uso de otro material para reforzar un material de baja resistencia a la tracción es un concepto antiguo. Por ejemplo, se han usado paja o cerda de caballo durante miles de años para mejorar las propiedades de los ladrillos de arcilla. Bentur, A., Mindess, S., "Fiber Reinforced Cementitious Composites", (Elsevier Applied Science, 1990). En los últimos años, se han incorporado fibras en una amplia variedad de materiales de ingeniería (incluyendo

cerámicas, plásticos, cemento y productos de yeso) para mejorar las propiedades de rendimiento del compuesto resultante. American Concrete Institute ACI 544.1R-96, "Fiber Reinforced Concrete", 1996. La introducción de fibras en hormigón produce cambios en las propiedades post-elásticas, que varían desde sutiles a sustanciales de acuerdo con un número de factores, incluyendo la fuerza de la matriz, tipo de fibra, módulo de fibra, relación de aspectos de fibras, fuerza de fibra, características de enlace de superficie de la fibra, contenido de fibra, orientación de la fibra, efectos de tamaño de agregado, y similares.

Las propiedades mejoradas incluyen resistencia a la tracción, fuerza compresiva, módulo elástico, resistencia a la rotura, control de rotura, durabilidad, vida de fatiga, resistencia al impacto y abrasión, encogimiento, expansión, características térmicas y resistencia al fuego. *Id.*

Si bien se sabe que el refuerzo de fibra es más efectivo que el refuerzo convencional en el control de la rotura local, a diferencia de las barras de refuerzo, en la mayoría de los casos no proporciona ningún incremento en la capacidad de soporte de carga del hormigón. Las barras de refuerzo convencionales se ubican estratégicamente en la estructura para llevar los esfuerzos de tracción mientras las fibras se distribuyen al azar en la mezcla de hormigón. Las fibras, por lo tanto, no se usan en diseño como un sustituto para refuerzo convencional. Si bien actualmente no están dirigidas por la ACI Committee 318, las fibras a veces se usan en aplicaciones estructurales con refuerzo convencional. American Concrete Institute, ACI 318 Building Code Requirements for Reinforced Concrete, 1995.

La práctica de agregado de fibras de acero a hormigón para superar sus desventajas fue introducida por primera vez a comienzos de este siglo. Entre 1920 y 1935 se concedieron varias patentes pertenecientes a hormigón reforzado con fibras de acero (SFRC). Véase, por ejemplo, Kleinlagel, A., Patente Alemana

No. 388.959; Scailles, J. C., Patente Francesa No. 514.186; Martin, G. C., Patente Norteamericana No. 1.633.219; y Etherridge, H., Patente Norteamericana No. 1.913.707. El uso de fibras de vidrio en hormigón se intentó por primera vez en la Unión Soviética a fines de la década de 1950. Biryukovich, K. L., y Yu, D. L., "Glass Fiber Reinforced Cement", (traducida por G. L. Cairns, CERA Translation, No. 12, Civil Eng. Res. Assoc., Londres, 1965). Los intentos iniciales en el uso de fibras sintéticas (nilón, polipropileno) se hicieron en la década de 1960. Monfore, G. E., "A review of Fiber Reinforced Portland Cement Paste, Mortar and Concrete", *J. Res. Dev. Labs*, Vol. 10, No. 3, Sept. 1968, páginas 36 - 42; Goldfein, S., "Plastic Fibrous Reinforcement for Portland Cement", Informe Técnico No. 1757-TR, U. S. Army Research Development Laboratories, Fort Belvoir, Octubre 1963, páginas 1 - 16.

Cuando se usaron por primera vez fibras de acero, sólo se emplearon fibras de acero rectas. El uso de fibras de acero produjo mejoradas características para ductilidad y rigidez de fractura; también se informaron incrementos en la fuerza flexional. Para fibras de acero rectas, los factores primarios que controlaron las propiedades del compuesto fueron la fracción de volumen de fibra y la relación de longitud / diámetro, o de aspecto, de las fibras. La cantidad de fibras varió desde 90 a 120 kg / m³ (1,1 a 1,5 % en volumen) de hormigón. Las relaciones de aspecto eran en el rango de 60 a 100. Los principales problemas encontrados en las primeras etapas fueron la dificultad en la mezcla y capacidad de trabajo. A fracciones de volúmenes superiores, se encontró que las fibras se embrollaban durante el proceso de mezcla. Se encontró que este proceso, denominado embrollado, se producía frecuentemente con las fibras más largas. Ésto tiende a afectar la calidad del hormigón en el lugar, especialmente para fracciones de volúmenes de fibra superiores. Además, siempre hubo una reducción en la capacidad de trabajo del hormigón, como resultado del agregado de fibras.

El advenimiento de fibras de acero deformadas a fines de la década de 1970 produjo un uso incrementado en el campo de hormigón reforzado con fibras. Ramakrishnan estableció que las fibras con extremos de gancho podían utilizarse a fracciones de volúmenes mucho menores que las fibras de acero rectas, produciendo los mismos resultados en términos de ductilidad y rigidez del producto. Ramakrishnan, V., Brandshaug, T., Coyle, W. V. y Schrader, E. K., "A Comparative Evaluation of Concrete Reinforced with Straight Steel Fibers and Deformed End Fibers Glued Together in Bundles", ACI Journal, Vol. 77, No. 3, mayo - junio 1980, páginas 135 - 143. Estas fibras se encolaron juntas en los bordes, con cola soluble en agua, de manera que, cuando se agregaron al hormigón, las fibras tuvieron una relación de aspecto mucho menor (aparente). Durante la mezcla, las fibras se separaron y se dispersaron como fibras individuales. El encolado y posterior dispersión, en combinación con una menor fracción de volumen de fibras, produjo la virtual eliminación del embrollado. Más tarde, se desarrolló un número de otras formas de fibras, tales como extremos alargados, rizados y acanalados.

El Informe de ACI 544 Committee sobre Hormigón Reforzado con Fibras, publicado en 1996, informa que el primer uso significativo de fibras sintéticas en hormigón fue hecho en 1965, por la Sección de Desarrollo e Investigación de Ingeniería del US Army Corps. American Concrete Institute ACI 544.1R-96, "Fiber Reinforced Concrete", 1996. Se usaron fibras de monofilamento sintéticas para la construcción de estructuras de hormigón resistentes a las ráfagas. Las fibras utilizadas eran de 13 a 25 mm de largo, y tenían una relación de aspecto de entre 50 y 100, es decir, la geometría no era tan diferente de las fibras de acero que se estaban usando en hormigón en ese momento. Con estas fibras se encontró que los índices de agregado de hasta 0,5 % en volumen del hormigón producían incrementos significantes en la ductilidad y resistencia al impacto.

Sin embargo, había muy poca explotación comercial de la tecnología de refuerzo de fibras, y no fue hasta la década de 1980 cuando comenzaron a tener lugar el desarrollo de gran escala y el uso de fibras sintéticas en hormigón. Este trabajo se hizo predominantemente con fibras de diámetro mucho más bajas (es decir, fibras de diámetro pequeño con altas relaciones de aspecto), a índices de adición de fibra menores. Morgan, D. R., y Rich, L., "High Volume Synthetic Fiber Reinforced Shotcrete", Primera Conferencia Internacional sobre Hormigón Reforzado con Fibras Sintéticas, Orlando, Florida, USA, enero 16, 1998. La mayoría del trabajo se hizo con fibras de polipropileno fibriladas, colacionadas, a índices de adición de 0,1 a 0,2 % en volumen. A estos bajos índices de adición de volumen de fibra, los beneficios primarios de las fibras son para el control de rotura de encogimiento de plástico y provisión de fuerza verde a ciertos productos de hormigón de premoldeado, y moldeado verde. El mejoramiento de la ductilidad y de la resistencia al impacto, y de la resistencia a la rotura de encogimiento de secado restringido a largo plazo, se limita a dichos índices bajos de adición de volumen de fibra. Debería observarse que aún a estos índices bajos de adición de fibra, la cuenta de fibra (número de fibras en una unidad de volumen de matriz) y la superficie específica (área de superficie de fibras por unidad de volumen de matriz) son muy altas. En consecuencia, actualmente es muy difícil introducir en hormigón más de 0,4 % en volumen de fibras de polipropileno fibrilantes convencionales, sin hacer cambios significantes al diseño de mezcla de hormigón. Como resultado, la mayoría de las fibras sintéticas utilizadas hoy en día se incorporan en hormigón a índices de adición de fibra muy bajos, para controlar simplemente el encogimiento plástico.

Con la emergencia de nuevas áreas de aplicación, el interés de investigación se ha movido a contenidos de fibra más altos, donde el índice de rigidez y otros factores son consideraciones de diseño. El índice de rigidez es una

indicación de las capacidades de portación de carga de las fibras dentro de la matriz de hormigón después de la primera rotura. Como se mencionó anteriormente, el hormigón de moldeado en el lugar acomodará hasta 0,4 % en volumen de fibras sintéticas, con mínimos ajustes de proporción de mezcla. El hormigón de mezcla húmeda con fibras agregadas a un índice de hasta 0,75 % en volumen proporcionará importantes incrementos en los valores de índice de rigidez. Morgan, D. R., McAskill, N., Richardson, B. W., y Zellers, R. C., "A Comparative Evaluation of Plain, Polipropylene Fibers, Steel Fibers and Wire Mesh Reinforced Shotcrete," Transportation Research Board, Washington D. C., enero 1989. La longitud de las fibras y la configuración de las fibras son importantes factores a este contenido de fibra. En aplicaciones de láminas en grados, el uso de fibra de polipropileno fibrilada colacionada, a contenidos de hasta 0,3 % en volumen, ha incrementado dramáticamente la fuerza de fatiga. American Concrete Institute ACI 544.1R-96, "Fiber Reinforced Concrete", 1996.

Hace algunos años, se desarrolló una nueva fibra de poliolefina de monofilamento, con un único sistema dispensador, que ahora se ha utilizado a índices de adición de fibra en el rango de 1,0 a 2,0 % en volumen (es decir, valores hasta 10 veces mayores que el uso convencional de fibras de polipropileno fibriladas). La fibra se ha usado en un rango de diferentes aplicaciones de plancha mecánica de hormigón y otras aplicaciones de hormigón de moldeado en el lugar, por ejemplo, pavimento de hormigón de profundidad completa, baños de plataforma de puentes, capa final de blanqueo, etc. Ramakrishnan, V., y MacDonald, C. N., "Durability Evaluation and Performance Histories of Projects Using Polyolefin Fiber Reinforced Concrete", ACI British Columbia Chapter, Seminario de Hormigón de Alto Rendimiento, Vancouver BC, abril 1997, página 15. Las fibras utilizadas varían en longitud desde 25 a 50 mm, y tienen relaciones de aspecto en el rango de 66 a 80. A estos índices de adición de

fibra mucho más altos, la ductilidad, la resistencia al impacto y la rigidez en los compuestos de hormigón se incrementan sustancialmente, y son mucho más comparables con los valores logrados con hormigones reforzados con fibra de acero, con 0,5 a 0,7 % (40 a 55 kg / m³) adición de fibra en volumen. Además de demostrar excelentes características de refuerzo, la fibra de poliolefina posee la ventaja sobre su contraparte de acero, en cuanto a que nunca se oxidaría. Siguiendo la misma filosofía, (uso de fibra polimérica a altos índices de adición), Synthetic Industries ha lanzado recientemente una nueva fibra polimérica para aplicaciones de hormigón. La nueva fibra, denominada S-152 High Performance Polymer (HPP), es fabricada como un filamento grueso con un perfil de contorno diseñado. Synthetic Industries, literatura de productos, 1998. La forma del tipo onda de las fibras es diseñada para anclar las fibras en el hormigón. Adicionalmente, el grosor de la fibra le permite ser combinada a un índice mucho mayor por unidad de volumen que las fibras convencionales, proporcionando así el rendimiento estructural mejorado de la aplicación de hormigón.

Sin embargo, la fibra de poliolefina es de limitada utilidad, debido a que es una fibra de monofilamento que permanecerá en su forma original después de la mezcla. Posee un área de superficie relativamente baja, y en consecuencia tiene correspondientemente pobres características de enlace. Por lo tanto, se debe introducir un porcentaje relativamente grande en volumen (1,5 % y más), para lograr resultados beneficiosos.

La adición de fibras a hormigón en general producirá una pérdida de características de manipuleo y depresión de la mezcla. Esta pérdida se magnifica a medida que la relación de aspecto (longitud / diámetro) de la fibra, o el índice de adición de fibras, incrementa. Para hormigón reforzado con fibra convencionalmente mezclado, las fibras de relación de aspecto alta son más efectivas en el mejoramiento del rendimiento post-pico, debido a su alta

resistencia a salirse de la matriz. Un efecto nocivo del uso de fibras de alta relación de aspecto es el potencial para embrollado de las fibras durante la mezcla.

La mayoría de las fibras sintéticas utilizadas hoy en día son fibras fibriladas que tienen relaciones de aspecto y áreas de superficie muy altas. El área de superficie muy alta de estas fibras hace muy difícil producir una mezcla de hormigón capaz de ser trabajada a índices de adición de fibra más altos que 0,5 % en volumen, sin causar severos problemas de capacidad de trabajo y de embrollo de fibras. Por esta razón, las fibras sintéticas en su mayoría se usan a índices de adición de fibra de 0,1 % en volumen, y se agregan principalmente para el control de la rotura de encogimiento en hormigón.

Por lo tanto, existe aún una necesidad en el arte de contar con formulaciones de hormigón reforzado con fibra, que superen las desventajas observadas anteriormente, mientras que aún mantengan características superiores de manipuleo y encogimiento. Más particularmente, sería deseable poder emplear fibra de un tipo que sea menos sensible al embrollo, y por lo tanto pueda ser agregada a fracciones de volumen superiores. Las fracciones de volumen superiores producirán características de refuerzo incrementadas, que anteriormente no se podían lograr con materiales de construcción reforzados con fibra, tales como hormigón.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención se dirige a las necesidades del arte que se describen anteriormente, proporcionando materiales de construcción reforzados con fibra, tales como hormigón, que tienen mejoradas propiedades de rendimiento tales como reducido encogimiento plástico, reducido encogimiento de secado, mejorada resistencia al fuego, mejorada vida de fatiga, mejorada resistencia a la

contracción y expansión térmica, mayor índice de rigidez, mejorada capacidad de trabajo y manipuleo, y similares. Los materiales de construcción reforzados de la invención se preparan usando material fibroso que tiene propiedades iniciales definidas y la capacidad específica de fibrilarse, dando como resultado un área de superficie sustancialmente incrementado con la mezcla.

El área de superficie bajo inicial del material fibroso contemplado para el uso de acuerdo con la invención permite la adición de un contenido de fibra relativamente alto, sin hacer ningún cambio al diseño de mezcla de hormigón, o usar cualquier agente enlazante de liberación con tiempo para evitar el embrollo de las fibras. La capacidad del material fibroso empleado en la presente para pasar por la progresiva fibrilación, permite lograr una distribución uniforme de fibras a través de la mezcla de hormigón en las etapas más tempranas de mezcla, mientras que las fibras aún están relativamente intactas. Posteriormente, cuando las fibras comienzan a fibrilarse, en esa etapa no tienden a embrollarse ya que ya han sido bien dispersadas en la mezcla de hormigón.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FIGURA

La Figura 1 ilustra en forma gráfica la curva de rigidez flexional de una formulación "shotcrete" (hormigón disparado) que contiene 1,5 % en volumen de fibras de monofilamento que tienen propiedades de rendimiento / físicas como se describe para el uso en la práctica de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

De acuerdo con la presente invención, se proporcionan formulaciones de productos de construcción que comprenden una mezcla que contiene agente aglutinante inorgánico y en el rango de aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 3,0 por ciento en volumen de un material fibroso,

en donde dicho material fibroso se caracteriza por tener:

(a) una baja relación de aspecto inicial,

(b) un área de superficie inicial de no más de aproximadamente 200 mm²;

en donde dicho material fibroso es capaz de, y pasa por fibrilación progresiva bajo agitación de dicha formulación, dando como resultado un incremento promedio en el área de superficie de por lo menos 50 veces. Además se proporcionan en la presente métodos para la producción de la formulación de producto de construcción que se describe anteriormente, así como también artículos que comprenden la formulación.

Como se emplea en la presente, "formulación de producto de construcción" se refiere a una variedad de matrices y materiales de construcción, incluyendo formulaciones a base de cemento Portland y artículos producidos a partir de los mismos, tales como hormigón, "shotcrete", ladrillos, mortero, yeso, capa final de blanqueo, compuestos sintéticos, compuestos a base de carbono, y similares. En una realización preferida de la invención, la formulación a base de cemento Portland es hormigón compuesto de cemento Portland, piedra (como roca molida o grava) y arena.

Aquellos expertos en el arte pueden identificar con facilidad materiales aglutinantes inorgánicos adecuados para el uso en la práctica de la presente invención. Como se usa en la presente, el término "materiales aglutinantes inorgánicos" se refiere predominantemente a materiales sin carbono que sirven para mantener juntos a varios constituyentes sólidos de un agregado. Ejemplos de materiales contemplados para el uso en la presente incluyen cemento portland, arcilla, estuco, yeso de París y similares. Dichos materiales, incluyendo aquellos que se pueden obtener actualmente y aquellos desarrollados en el futuro, están contemplados para el uso en composiciones y métodos de la presente invención.

Como se usa en la presente, "material fibroso" se refiere a un monofilamento sintético que tiende a romperse (es decir, "fibrilarse"), bajo condiciones apropiadas, en una pluralidad de filamentos de varias longitudes, desde longitud completa a microscópicamente pequeña, cada uno de área transversal mucho menor y una relación de aspecto mayor que el monofilamento original. Naturalmente, es reconocido por aquellos expertos en el arte, el hecho de que el material fibroso puede no romperse completamente, sino que puede quedar una unidad compuesta de una pluralidad de fibrilos (es decir, puede ser parcialmente fibrilado). En un aspecto de la presente invención, puede esperarse bajo las condiciones apropiadas una población de fibrilos largos, cortos, unidos y separados. Las condiciones adecuadas para la generación de las fibras completa y parcialmente fibriladas incluyen agitación, mezcla, vibración, rociado y similares. La variedad resultante en el tamaño de fibras y relaciones de aspecto de las fibras fibriladas contribuirá a un rango de características mejoradas tales como capacidad de trabajo, rigidez y resistencia al encogimiento.

El material fibroso contemplado para el uso en la presente típicamente tiene propiedades de rendimiento deseables tales como resiliencia, resistencia a la tracción, rigidez, resistencia a los cambios en pH, y resistencia a la humedad, suficientes como para tornar útiles a dichos materiales, para el refuerzo de formulaciones de productos de construcción bajo condiciones y cargas estándares. En una realización específica, el material fibroso contemplado para el uso en la presente está compuesto de artículos de fibra llana, rizada y / o en relieve. En otro aspecto de la presente invención, las dimensiones transversales iniciales del monofilamento sintético original son aproximadamente 1,1 mm x 0,37 mm. De acuerdo con otro aspecto específico de la invención, el material fibroso comprende una fina estructura de red de fibras de una resina sintética copolimérica. Como se usa en la presente, la frase "estructura de red" se adapta

al uso normal del término, es decir, las fibras forman una estructura del tipo red o malla relativamente desordenada. El modificador “fina”, como se usa en la frase “fina estructura de red”, denota la naturaleza inherentemente pequeña de la red debido al tamaño de las fibras que se describen en la presente para el uso en las composiciones y métodos de la invención.

Ejemplos de resinas sintéticas copoliméricas adecuadas contempladas para el uso en la presente incluyen copolímeros de polipropileno y polietileno. Con preferencia, el copolímero de polietileno / polipropileno empleado en la presente tendrá una masa de aproximadamente 7,5 gramos por diner, una gravedad específica de aproximadamente 0,94 y una elongación de estiramiento en el rango de aproximadamente 16 % hasta aproximadamente 18 %. En esta realización preferida, la combinación de polímero está compuesta de en el rango de aproximadamente 70 hasta aproximadamente 90 % de resina de polipropileno que tiene un índice de flujo fundido en el rango de aproximadamente 1,2 hasta aproximadamente 4 g / 10 min., y una gravedad específica en el rango de aproximadamente 0,88 hasta aproximadamente 0,90 g / cm³. El otro componente de la combinación de polímero actualmente preferida es en el rango de aproximadamente 10 hasta aproximadamente 30 % resina de polietileno de alta densidad, con un índice de flujo fundido de en el rango de aproximadamente 0,6 hasta aproximadamente 1,1 g / 10 min., y una gravedad específica de en el rango de aproximadamente 0,94 hasta aproximadamente 0,96 g / cm³. En un aspecto preferido de la invención, la red fibrosa consiste del copolímero de polietileno / polipropileno que se describe anteriormente exclusivamente, y no se mantiene junto por medio de ningún tipo de agente adhesivo. Fibras ejemplares de este tipo se hacen bajo el nombre de “PolysteelTM”, y se encuentran disponibles en filamentos de la East Coast Rope Ltd., de Sydney, Nova Scotia, Canadá.

Las fibras contempladas para el uso de acuerdo con las composiciones y

métodos de la invención se pueden producir por cualquier método conocido en el arte. En un aspecto de la presente invención, las fibras contempladas para el uso en la práctica de la invención se fabrican por extrusión individual de un filamento que es posteriormente enfriado, y luego estirado en un horno de estiramiento. El filamento luego se recalienta en un horno de recocido para relajar el filamento y encerrar la "memoria" del filamento. Luego se le puede dar al filamento un relieve para crear flexibilidad y mejorar la capacidad de asimiento del filamento. Finalmente, el filamento se corta a la longitud especificada (de acuerdo con la aplicación), usando, por ejemplo, una rueda de corte giratoria. Naturalmente, como aquellos expertos en el arte reconocen sin dificultad, se pueden emplear también otros métodos adecuados para la producción de fibras, que cumplan con los requisitos para fibras expuestos en la presente.

Como se emplea en la presente, "relación de aspecto" significa la longitud de una fibra dividida por su ancho (es decir, la dimensión de sección transversal más ancha). De acuerdo con la presente invención, el material fibroso empleado tiene una relación de aspecto inicial baja. Las relaciones de aspecto adecuadas pueden ser determinadas sin dificultad por aquellas personas expertas en el arte. Típicamente, la relación de aspecto inicial se encontrará en el rango de aproximadamente 30 hasta aproximadamente 80. Como entenderán sin dificultad aquellos expertos en el arte, se puede emplear cualquier valor en el rango que se describe anteriormente, para la práctica de la presente invención, de acuerdo con la formulación particular de las composiciones de la invención, con el uso propuesto, la(s) propiedad(es) deseada(s) de las composiciones de la invención, y similares. Por ejemplo, en un aspecto de la invención, cuando se preparan formulaciones útiles para hormigón bombeado (por ejemplo "shotcrete"), la relación de aspecto inicial debería encontrarse en el extremo inferior del rango, típicamente debería ser aproximadamente 50. En otro aspecto de la invención,

cuando se preparan formulaciones útiles para hormigón de vertido o moldeo en el lugar (como planchas) la relación de aspecto inicial debería encontrarse en el extremo superior del rango, típicamente debería ser aproximadamente 70.

Como aquellos expertos en el arte reconocerán sin dificultad, un amplio rango de longitudes de fibra es adecuado para el uso en la práctica de la presente invención. Como aquellos expertos en el arte entenderán, la longitud de las fibras a ser empleadas en la práctica de la presente invención variará de acuerdo con la formulación particular de las composiciones de la invención, con el uso propuesto, la(s) propiedad(es) deseada(s) de las composiciones de la invención, y similares. Por ejemplo, en un aspecto de la invención, cuando se preparan formulaciones útiles para hormigón bombeado, la longitud de fibra inicial para el material fibroso contemplado para el uso en la presente será relativamente corta, típicamente alrededor de 38 mm. En otro aspecto de la invención, cuando se preparan formulaciones útiles para hormigón de vertido o modeo en el lugar, la longitud de fibra será algo más larga, típicamente alrededor de 50 mm.

Como se usa en la presente, el “área de superficie inicial baja” contemplada para el material fibroso que se emplea en la presente, no es mayor de aproximadamente 200 mm². Actualmente es preferible que el área de superficie inicial no sea mayor de aproximadamente 150 mm². En una realización específica para el uso en la preparación de composiciones a base de cemento Portland que deben ser bombeadas (por ejemplo, “shotcrete” y similares), se prefiere un área de superficie inicial de aproximadamente 110 mm². En una realización específica para el uso en la preparación de composiciones a base de cemento Portland que deben ser moldeadas o vertidas en el lugar, el área de superficie inicial preferido es aproximadamente 150 mm².

Como se emplea en la presente, “agitación” se refiere a cualquier medio de combinación / mezcla de los contenidos de las formulaciones de la invención.

Todos dichos medios están contemplados para el uso en la práctica de la presente invención. La agitación se puede efectuar por cualquier medio mecánico, tales como, por ejemplo, por mezcla, rotación, agitación, sacudido, vertido, amasado, vibración, bombeo y similares. Los medios adicionales de agitación contemplados para el uso en la presente invención incluyen vibración ultrasónica y turbulencia o mezcla inducida térmicamente. En una realización actualmente preferida, la agitación se producirá a través de la acción mecánica de una mezcladora de cemento.

El uso del término “fibrilación” en las presentes reivindicaciones y memoria descriptiva, se refiere a la progresiva separación del material fibroso de área de superficie baja, en miembros individuales de la red fibrosa de componentes. En una población determinada de material fibroso que ha sufrido fibrilación, algo del material fibroso inicial de área de superficie baja puede quedar sustancialmente intacto y sin separar, mientras que otras de las fibras de inicio pueden separarse en forma sustancialmente completa. De acuerdo con la presente invención, después de la fibrilación existirá una gama de fibras separadas, produciendo un incremento promedio en el área de superficie de la población de material fibroso de por lo menos 50 veces. En una realización preferida, el material fibroso habrá sufrido un incremento promedio en el área de superficie de por lo menos 100 veces. En una realización especialmente preferida, la población de fibras representará un incremento promedio en el área de superficie del material fibroso de por lo menos 200 veces. En una realización preferida de la presente invención, la fibrilación progresiva de las fibras permite lograr una distribución casi uniforme de las fibras por toda la mezcla de hormigón en las etapas tempranas de la mezcla, mientras que las fibras aún están relativamente intactas (es decir, antes de la fibrilación de las mismas).

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporcionan

formulaciones de productos de construcción que comprenden el material fibroso que se describe en la presente, en el rango de aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 3,0 por ciento en volumen. Dichas formulaciones de productos de construcción muestran mejoradas características cuando se comparan con otras formulaciones de construcción reforzadas con fibra, tales como reducido encogimiento plástico, reducido encogimiento de secado, mejorada resistencia al fuego, mejorada vida de fatiga, mejorada resistencia a la contracción y expansión térmica, mejorada resistencia al impacto, incrementada rigidez flexional, mejorada capacidad de trabajo, bombeo y manipuleo, y similares.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporcionan formulaciones de productos de construcción que comprenden en el rango de aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 0,3 por ciento en volumen, del material fibroso que se describe en la presente. A estos índices bajos de adición de fibra, dichas formulaciones demuestran mejoradas características, tales como encogimiento plástico, encogimiento de secado, mejorada resistencia al fuego, mejorada vida de fatiga, mejorada resistencia a la contracción y expansión térmica, mejorada capacidad de trabajo, bombeo y manipuleo, así como también alguna mejoría en la resistencia al impacto y rigidez flexional.

En aún otro aspecto de la presente invención, se proporcionan formulaciones de productos de construcción que comprenden en el rango de aproximadamente 0,3 hasta aproximadamente 3,0 por ciento en volumen, del material fibroso que se describe en la presente. A estos índices relativamente altos de adición de fibra, dichas formulaciones también demuestran mejoradas características, tales como encogimiento plástico, encogimiento de secado, mejorada resistencia al fuego, mejorada vida de fatiga, mejorada resistencia a la contracción y expansión térmica, mejorada capacidad de trabajo, bombeo y manipuleo, así como también sustanciales mejorías en la resistencia al impacto y

rigidez flexional.

De acuerdo con otra realización de la presente invención, se proporcionan métodos para la producción de formulaciones de productos de construcción mediante el agregado del material fibroso que se describe anteriormente, a materiales de enlace inorgánicos, en donde la formulación se somete a agitación suficiente como para lograr un incremento promedio en el área de superficie de las fibras de por lo menos 50 veces. Estos métodos producen materiales de construcción que tienen mejoradas características, cuando se comparan con otros sistemas de refuerzo de fibra sintética, tales como reducido encogimiento plástico, reducido encogimiento de secado, mejorada resistencia al fuego, mejorada vida de fatiga, mejorada resistencia a la contracción y expansión térmica, mejorada resistencia al impacto, incrementada rigidez flexional, mejorada capacidad de trabajo, bombeo y manipuleo, y similares.

En un aspecto de los métodos de la invención, se agrega en el rango de aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 0,3 por ciento en volumen de material fibroso, a una composición a base de cemento Portland que luego es sometida a agitación como se observa anteriormente, proporcionando así formulaciones de productos de construcción con mejoradas características, tales como encogimiento plástico, encogimiento de secado, mejorada resistencia al fuego, mejorada vida de fatiga, mejorada resistencia a la contracción y expansión térmica, mejorada capacidad de trabajo, mejorados bombeo y manipuleo, así como también alguna mejoría en la resistencia al impacto y en la rigidez flexional.

En otro aspecto de los métodos de la invención, se agrega en el rango de aproximadamente 0,3 hasta aproximadamente 3,0 por ciento en volumen de un material fibroso, a una composición a base de cemento Portland que luego es sometida a agitación como se observa anteriormente, proporcionando así formulaciones de productos de construcción con encogimiento plástico,

encogimiento de secado, mejorada resistencia al fuego, mejorada vida de fatiga, mejorada resistencia a la contracción y expansión térmica, mejorada capacidad de trabajo, mejorados bombeo y manipuleo, así como también sustanciales mejoras en la resistencia al impacto y en la rigidez flexional.

De acuerdo con otra realización de la presente invención se proporcionan artículos que comprenden las formulaciones de productos de construcción que se describen anteriormente. En un aspecto preferido de la invención, se proporcionan artículos que comprenden las formulaciones a base de cemento Portland que se describen anteriormente.

Ahora la invención se describirá en mayor detalle por referencia a los siguientes ejemplos no limitativos.

EJEMPLOS

En un experimento reciente, se demostró que 3.000 diners de fibra Polysteel™ (disponible de East Coast Rope, Ltd., North Sydney, Nova Scotia) comprendida de copolímero de polietileno / polipropileno con una masa de aproximadamente 7,5 gramos por diner, una gravedad específica de aproximadamente 0,94, y una elongación de estiramiento en el rango de aproximadamente 16 % hasta aproximadamente 18 %, cuando se agrega a un índice de adición de volumen de 1 %, superó en rendimiento a la fibra de poliolefina a 1,67 % en volumen (fibra de área de superficie específico inicial similar, e idéntica resistencia a la tracción y módulo de elasticidad), tanto en rendimiento de rigidez flexional como en encogimiento plástico. Se condujeron tests similares en una serie de fibras de acero, a índices de adición de fibra de 0,5 y 0,75 %; los resultados muestran que la fibra fibrilante, cuando se agrega a un índice de adición de volumen de 1 %, superó en rendimiento sin dificultad a las fibras de acero en el control del encogimiento plástico y encogimiento de secado.

Los tests de “shotcrete” conducidos en fibra, con rendimiento y propiedades físicas que se describen anteriormente, revelan que la fibra es fácilmente bombeada y disparada, a fracciones de volumen de fibra de hasta 1,5 %. Un leve cambio en el diseño de la mezcla de hormigón permitió que la fibra sea bombeada y disparada a un porcentaje muy alto de índice de adición, de 2 % en volumen. Debería observarse que es casi imposible bombear y disparar la mayoría de las fibras sintéticas fibriladas disponibles en el mercado, a índices de adición de fibra superiores a 0,5 % en volumen. Nuevamente, el área de superficie de fibra bajo inicial de la fibra de monofilamento, permitió la adición de una cantidad muy alta de fibras en el “shotcrete”. En el caso de “shotcrete”, la acción fibrilante se produjo tanto por la acción de mezcla de la mezcladora de hormigón, como por el impacto de las fibras sobre la superficie proyectada. Los resultados, como se ilustran en la Figura 1, indican que la fibra fibrilante ha logrado un Nivel de Rendimiento de Rigidez V, a 1,5 % adición, un rendimiento nunca antes logrado por ninguna fibra sintética. Los índices de adición de fibra de 1 % en “shotcrete” de la fibra fibrilante lograron Nivel de Rendimiento de Rigidez IV, lo que nuevamente es sustancialmente superior a la otra fibra sintética.

Si bien la invención se ha descrito en detalle con referencia a ciertas realizaciones preferidas de la misma, se entenderá que las modificaciones y variaciones se encuentran dentro del alcance y espíritu de los que se describen y se reivindican.

REIVINDICACIONES

Habiendo así especialmente descrito y determinado la naturaleza de la presente invención y la forma como la misma ha de ser llevada a la práctica, se declara reivindicar como de propiedad y de derecho exclusivo:

1. Un material de construcción reforzado con fibra, caracterizado por el hecho de que es una mezcla que contiene agente aglutinante inorgánico, y en el rango de aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 3,0 por ciento en volumen, de un material fibroso, en donde dicho material fibroso se caracteriza por tener: (a) una baja relación de aspecto inicial, (b) un área de superficie inicial no mayor a aproximadamente 200 mm²; en donde dicho material fibroso es capaz, y sufre de fibrilación progresiva bajo agitación de dicha formulación, produciendo un incremento promedio en el área de superficie de por lo menos aproximadamente 20 por ciento.
2. El material de construcción reforzado con fibra de acuerdo a la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que dicho agente aglutinante comprende cemento Portland.
3. El material de construcción reforzado con fibra de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que dicha relación de aspecto inicial se encuentra en el rango de aproximadamente 30 hasta aproximadamente 80.
4. El material de construcción reforzado con fibra de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que dicho material fibroso consiste esencialmente de fibras integradas, planas, rizadas.
5. El material de construcción reforzado con fibra de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que dicho material fibroso está compuesto por una fina estructura de red de filamentos de una resina sintética.
6. El material de construcción reforzado con fibra de acuerdo con la

reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que dicho material fibroso está compuesto por una fina estructurada red de filamentos de polipropileno y polietileno.

7. El material de construcción reforzado con fibra de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que dicho material fibroso tiene una masa de aproximadamente 7,5 gramos por dínier, una gravedad específica de aproximadamente 0,94, y una elongación de estiramiento de aproximadamente 16 % a aproximadamente 18 %.

8. El material de construcción reforzado con fibra de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que comprende en el rango de aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 0,3 por ciento en volumen de dicho material fibroso.

9. El material de construcción reforzado con fibra de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que comprende en el rango de aproximadamente 0,3 hasta aproximadamente 3,0 por ciento en volumen de dicho material fibroso.

10. Un artículo que comprende el material de construcción reforzado con fibra de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por el hecho de que comprende una formulación a base de cemento Portland.

11. Un método para la producción de un material de construcción reforzado con fibra de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por el hecho de que comprende agregar en el rango de aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 3,0 por ciento en volumen de dicho material fibroso a dicho agente aglutinante inorgánico.

p.p. de: DALHOUSIE UNIVERSITY

RESUMEN

Una formulación novedosa de material de construcción reforzado con fibra y un método para obtener la formulación. La formulación del invento comprende una agente ligante inorgánico y que está presente en una proporción en el rango de 0,1 hasta 3,0 por ciento por volumen de un material fibroso, en donde el material fibroso presenta la novedad de que tiene una baja relación de aspecto inicial y un área de superficie inicial no mayor a aproximadamente 200 mm^2 . El material fibroso, bajo agitación de dicha formulación, es capaz de experimentar y experimenta fibrilación progresiva, produciendo un incremento en el área de superficie de al menos 20 por ciento y de fibras sintéticas. Como resultado, se producen materiales de construcción más resistentes, debido a la posibilidad de agregar mayores proporciones de fibras que en las técnicas conocidas. Se describe además un artículo producido con las composiciones del invento.